

R  
BTNVMT  
VNCĐC

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**  
**VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

**ĐỀ TÀI:**

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA VIỆC XÂY  
DỰNG CÁC MẠNG LƯỚI GPS CÁC CẤP HẠNG  
TRONG HỆ TOẠ ĐỘ ĐỘNG HỌC**

**Chủ nhiệm đề tài:** PGS. TSKH. Hà Minh Hoà. Viện Nghiên cứu Địa chính

Địa chỉ: Đường Hoàng Quốc Việt - Cầu Giấy - Hà Nội

ĐT: 7553172 Fax (84.4)7561156-7540186

Hà Nội, tháng 3 năm 2005

5345.

26/5/05.

2005-04-266/KQ

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG  
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**

**BÁO CÁO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**

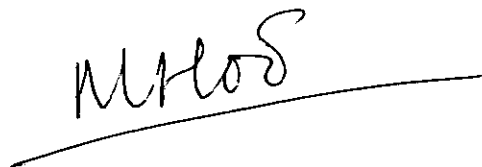
ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA VIỆC XÂY  
DỰNG CÁC MẠNG LƯỚI GPS CÁC CẤP HẠNG  
TRONG HỆ TOẠ ĐỘ ĐỘNG HỌC**

Số đăng ký:.....

Hà Nội, ngày 20 tháng 03 năm 2005

**CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI**



**PGS. TSKH. Hà Minh Hoà**

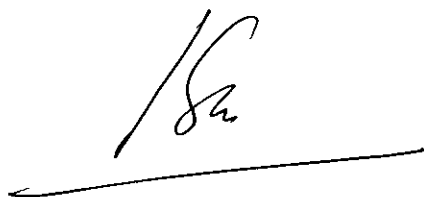
Hà Nội, ngày 9 tháng 5 năm 2005

**CƠ QUAN CHỦ TRÌ ĐỀ TÀI  
VIỆN TRƯỞNG  
VIỆN NGHIÊN CỨU ĐỊA CHÍNH**



**TS. Lê Minh**

Hà Nội, ngày tháng năm 2005  
**HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ CHÍNH THỨC  
CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG**



**TS. Lê Kim Sơn**

Hà Nội, ngày tháng năm 2005

**CƠ QUAN QUẢN LÝ ĐỀ TÀI  
TL. BỘ TRƯỞNG  
BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG  
KT. VỤ TRƯỞNG  
VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ  
PHÓ VỤ TRƯỞNG**



**TS. Lê Kim Sơn**

Hà Nội - 2005

**Những người thực hiện chính:**

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. PGS. TSKH. Hà Minh Hoà.   | Viện Nghiên cứu Địa chính.           |
| 2. GS. TSKH. Đặng Hùng Võ.   | Bộ Tài nguyên và Môi trường.         |
| 3. GS. TSKH. Phạm Hoàng Lân. | Trường ĐH Mỏ - Địa chất.             |
| 4. TS. Nguyễn Ngọc Lâu.      | Trường ĐH Bách Khoa. TPHCM.          |
| 5. TS. Lê Trung Chơn.        | Trường ĐH Bách Khoa. TPHCM.          |
| 6. PGS. TS. Trần Đình Tô.    | Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. |

## **BÀI TÓM TẮT**

Đề tài “*Nghiên cứu cơ sở khoa học của việc xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học*” được thực hiện nhằm đạt được các mục tiêu chính bao gồm xây dựng được cơ sở khoa học của việc thiết lập các mạng lưới GPS các hạng trên quan điểm Hệ tọa độ động học quốc gia; xác định cơ sở của việc kiểm soát sự thay đổi của độ cao geoid dưới tác động của sự thay đổi của gia tốc lực trọng trường và thiết lập các mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ quốc gia. Các kết quả nghiên cứu cho thấy để xây dựng các mạng lưới GPS độ chính xác cao trong Hệ tọa độ động học cần phải sử dụng các dịch vụ của Tổ chức dịch vụ GPS quốc tế (IGS) hoặc trực tiếp phối hợp với tổ chức này trong việc phát triển hệ thống các trạm thu thường trực. Việc phát triển hệ thống các trạm thu này còn cho phép kiểm soát được sự biến thiên của tầng điện ly để xác định mô hình tầng điện ly phục vụ cho việc cải chính các trị đo GPS nhận được từ các máy thu một tần số, đáp ứng các yêu cầu hoạt động của các radar quân sự và nghiên cứu quá trình tạo mây của lĩnh vực khí tượng - thủy văn. Hệ tọa độ động học quốc gia có 5 chức năng chính:

1. Đảm bảo việc áp dụng phương pháp thủy chuẩn vệ tinh - trọng lực để xây dựng mô hình Kvazigeoid với độ chính xác đủ đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc - thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.
2. Đảm bảo cơ sở trắc địa để ứng dụng các phương pháp đo tĩnh bằng các máy thu một tần số, tĩnh nhanh (Fast Static) và đo GPS động (RTK, PPK) trong việc phát triển các điểm khống chế ảnh, khống chế đo vẽ và đo vẽ chi tiết.
3. Thiết lập mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ quốc gia và làm chính xác hoá Hệ tọa độ quốc gia.
4. Kiểm soát và xác định sự ảnh hưởng của các quá trình địa động học đến sự ổn định của cơ sở trắc địa quốc gia.
5. Kiểm soát được sự biến thiên của tầng điện ly.

Để thực hiện các chức năng của Hệ tọa độ động học quốc gia, trên cơ sở xác định độ chính xác cho phép của độ cao chuẩn các cấp hạng trong Hệ độ cao quốc gia, xác định yêu cầu độ chính xác cần thiết của mô hình Kvazigeoid nhằm ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc - thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn; nghiên cứu các phương pháp nội suy dị thường độ cao; đánh giá ước tính độ chính xác xác định chiều dài cạnh, hiệu độ cao trắc địa, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm bằng công nghệ GPS trên các khoảng cách lớn, nhóm nghiên cứu đã đề xuất ba hạng các mạng lưới GPS (hạng AA, hạng A và hạng B) trong Hệ tọa độ động học quốc gia cùng với các tiêu chuẩn kỹ thuật của chúng. Các kết quả nghiên cứu cho thấy việc thiết lập mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học quốc gia và Hệ tọa độ quốc gia thông qua việc bình sai ghép nối mạng lưới GPS hạng B vào Hệ tọa độ quốc gia sẽ nâng cao độ chính xác của Hệ tọa độ quốc gia và xác định một cách tin cậy các tham số biến đổi tọa độ giữa hai hệ tọa độ này. Trong đề tài, việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác đo đạc và xử lý kết quả đo GPS trên các khoảng cách lớn sẽ phục vụ cho việc xây dựng quy trình đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn, lựa chọn hoặc phát triển phần mềm để xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn.

Các kết quả nghiên cứu trong đề tài hình thành nên các đề xuất được trình bày trong Chương 7 của Báo cáo khoa học này.

# MỤC LỤC

| NỘI DUNG                                                                                                                          | TRANG |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| LỜI MỞ ĐẦU                                                                                                                        | 1-3   |
| CHƯƠNG 1. CÁC HIỆN TƯỢNG ĐỊA ĐỘNG HỌC VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CHÚNG ĐẾN VIỆC XÁC ĐỊNH HỆ TOẠ ĐỘ ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG LĨNH VỰC TRẮC ĐỊA.    | 4-30  |
| <u>\$1.1. Khái niệm về các Hệ toạ độ đỉnh vi không gian và đỉnh vi Quả đất.</u>                                                   | 4-5   |
| <u>\$1.2. Hệ toạ độ sao và mối quan hệ của nó với Hệ toạ độ không gian Quả đất.</u>                                               | 5-9   |
| <u>\$1.3. Các hiện tượng địa động học toàn cầu.</u>                                                                               | 10-12 |
| <u>\$1.4. Tổ chức Dịch vụ GPS quốc tế (IGS) và các sản phẩm nhân được từ tổ chức này để xây dựng Hệ toạ độ động học quốc gia.</u> | 12-18 |
| <u>\$1.5. Xác định các chức năng nhiệm vụ của Hệ toạ độ động học quốc gia.</u>                                                    | 18-25 |
| <u>\$1.6. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài.</u>                                                                                  | 25-30 |
| <u>\$1.7. Tình hình nghiên cứu ở trong nước.</u>                                                                                  | 30    |
| CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU CÁC YÊU CẦU ĐƯỢC ĐẶT RA ĐỐI VỚI VIỆC ĐO ĐẠC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO.                           | 31-83 |
| A. NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KẾT QUẢ ĐO ĐẠC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO.                                      | 31-76 |
| <u>\$2.1. Các ứng dụng các máy thu hai tần số trong công nghệ GPS.</u>                                                            | 34-43 |
| <u>\$2.1.1 Sử dụng sóng mang tần số <math>L_2</math> để loại bỏ ảnh hưởng của phản xạ tầng điện ly.</u>                           | 35-37 |

|                                                                                                                                                                                      |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <u>\$2.1.2. Sử dụng các sóng dài rộng và dài hẹp để xác định các tri<br/>nguyên đa tri và kiểm soát sự thay đổi của tầng điện ly.</u>                                                | 37-41 |
| <u>\$2.1.3. Các vấn đề quan trọng trong quá trình xử lý các dữ liệu đo<br/>phase.</u>                                                                                                | 41-43 |
| <u>\$2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tầng đối lưu đến các tri đo GPS.</u>                                                                                                              | 43-54 |
| <u>\$2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền.</u>                                                                                                                   | 54-55 |
| <u>\$2.4. Độ lệch và sự biến thiên tâm phase của anten. Sự định<br/>hướng anten.</u>                                                                                                 | 55-57 |
| <u>\$2.5. Độ lệch tâm phase anten phát của vệ tinh.</u>                                                                                                                              | 57    |
| <u>\$2.6. Kiểm tra sự trượt của chu kỳ.</u>                                                                                                                                          | 57-60 |
| <u>\$2.7. ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý đến chất lượng đo GPS<br/>trên các khoảng cách lớn.</u>                                                                                | 60-65 |
| <u>\$2.8. Vai trò của lịch vệ tinh chính xác trong đo đạc GPS độ<br/>chính xác cao.</u>                                                                                              | 66    |
| <u>\$2.9. Vấn đề xác định độ cao Anten máy thu trong việc áp dụng<br/>công nghệ GPS.</u>                                                                                             | 67-73 |
| <u>\$2.10. Xác định số lượng ca đo và khoảng thời gian cho 1 ca đo.</u>                                                                                                              | 73-76 |
| B. CÁC TÍNH NĂNG KỸ THUẬT CỦA CÁC PHẦN MỀM HIỆN ĐẠI<br>ĐƯỢC SỬ DỤNG ĐỂ XỬ LÝ DỮ LIỆU ĐO GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO TRÊN<br>CÁC KHOẢNG CÁCH LỚN.                                            | 76-82 |
| C. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.                                                                                                                                                                | 82-83 |
| CHƯƠNG 3. VIỆC ĐẢM BẢO XÁC ĐỊNH ĐỘ CAO CHUẨN<br>BẰNG CÔNG NGHỆ GPS PHỤC VỤ CÁC YÊU CẦU CỦA CÔNG<br>TÁC ĐO ĐẠC VÀ BẢN ĐỒ - MỘT TRONG NHỮNG NHIỆM VỤ CƠ<br>BẢN CỦA HỆ TOẠ ĐỘ ĐỘNG HỌC. | 84-99 |
| <u>\$3.1. Đặt vấn đề.</u>                                                                                                                                                            | 84-86 |
| <u>\$3.2. Khảo sát yêu cầu độ chính xác xác định độ cao chuẩn các<br/>cấp hạng và nghiên cứu khả năng xác định độ cao chuẩn bằng công</u>                                            | 86-91 |

nghe GPS [ 87 ].

\$3.3. Nghiên cứu khả năng xác định di thường độ cao và độ cao chuẩn nhờ các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ toạ độ động học. 92-95

\$3.4. Đánh giá ước tính độ chính xác hiệu độ cao trắc địa nhân được bằng công nghệ GPS trên các khoảng cách khác nhau [ 84]. 95-98

\$3.5. Kết luận chương 3. 98-99

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU CƠ SỞ SỬ DỤNG CÁC DỮ LIỆU ĐO ĐẠC GPS, TRỌNG LỰC VÀ THUỶ CHUẨN NHÀ NƯỚC ĐỂ XÂY DỰNG MÔ HÌNH KVAZIGEOID VÀ KIỂM SOÁT SỰ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ ĐỘ CAO QUỐC GIA. 100-111

\$4.1. Đánh giá độ chính xác truyền di thường độ cao theo các phương pháp nội suy trọng lực. 100-108

\$4.1.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp nội suy tuyến tính di thường độ cao dựa trên dữ liệu trọng lực. 100-103

\$4.1.2. Nội suy theo phương pháp Collocation. 103-105

\$4.1.3. Nội suy theo phương pháp Spline. 106-108

\$4.1.4. Các kết luận của mục 4.1. 108

\$4.2. Đánh giá khả năng kiểm soát sự ổn định của Hệ độ cao Quốc gia nhờ kết quả đo lặp trọng lực. 109-111

\$4.2.1. Đánh giá ảnh hưởng của sự biến thiên trọng trường trái đất đến chênh cao chuẩn giữa hai mốc thuỷ chuẩn. 109-110

\$4.2.2. Đánh giá ảnh hưởng của sự biến thiên trọng trường trái đất đến hiệu di thường độ cao giữa hai điểm trắc địa. 110-111

CHƯƠNG 5. XÁC ĐỊNH CÁC HẠNG VÀ XÂY DỰNG TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT CỦA CÁC MẠNG LƯỚI GPS TRONG HỆ TOẠ ĐỘ ĐỘNG HỌC. 112-135

\$5.1. Đặt vấn đề. 112

|                                                                                                                                                                |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <u><b>\$5.2. Giải quyết một số bài toán khoa học-kỹ thuật để xây dựng một số tiêu chuẩn kỹ thuật cho các mạng lưới GPS các hạng.</b></u>                       | 112-124 |
| <u><b>\$5.2.1. Xác định sai số vị trí điểm mặt bằng tương hỗ của các điểm GPS theo các hạng.</b></u>                                                           | 112-114 |
| <u><b>\$5.2.2. Nghiên cứu xác định độ chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS cùng hạng [85].</b></u>                                        | 114-120 |
| <u><b>\$5.2.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của sự khác nhau về độ chính xác của các véc tơ baseline đến chất lượng bình sai mạng lưới GPS.</b></u>                  | 115-118 |
| <u><b>\$5.2.2.2. Xác định độ chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS.</b></u>                                                                | 118-120 |
| <u><b>\$5.2.3. Xác định góc ngưỡng về tình nhỏ nhất cho phép trong đo đạc GPS để xây dựng mạng lưới GPS ở hạng xác định trong Hệ tọa độ đông học [86].</b></u> | 120-124 |
| <u><b>\$5.3. Xác định các hạng và các tiêu chuẩn kỹ thuật của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ đông học Quốc gia.</b></u>                                     | 124-129 |
| <u><b>\$5.3.1. Mạng lưới GPS cơ sở hạng AA.</b></u>                                                                                                            | 124     |
| <u><b>\$5.3.2. Mạng lưới GPS hạng A.</b></u>                                                                                                                   | 124-126 |
| <u><b>\$5.3.2. Mạng lưới GPS hạng B.</b></u>                                                                                                                   | 126-129 |
| <u><b>\$5.4. Phát triển các mạng lưới chêm dầy dựa trên các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ đông học.</b></u>                                                    | 129-132 |
| <u><b>\$5.5. Hoàn thiện mạng lưới hải văn biển dựa trên Hệ tọa độ đông học quốc gia.</b></u>                                                                   | 132-134 |
| <u><b>\$5.6. Xác định chu kỳ đo lặp Hệ tọa độ đông học quốc gia.</b></u>                                                                                       | 134-135 |
| <b>CHƯƠNG 6. XÁC ĐỊNH CÁC MỐI QUAN HỆ GIỮA HỆ TỌA ĐỘ ĐỘNG HỌC VÀ HỆ TỌA ĐỘ QUỐC GIA.</b>                                                                       | 136-154 |
| <u><b>\$6.1. Các vấn đề khoa học – kỹ thuật đặc trưng cho Hệ tọa độ mặt bằng và Hệ độ cao Quốc gia.</b></u>                                                    | 136-138 |

|                                                                                                                                       |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <u>\$6.2. Xác định các mối quan hệ giữa Hệ tọa độ đông học và Hệ tọa độ Quốc gia.</u>                                                 | 139-140 |
| <u>\$6.3. Bình sai ghép nối mang lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia [80,82,83].</u>                                                      | 140-153 |
| <u>\$6.3.1. Đặt vấn đề.</u>                                                                                                           | 140-145 |
| <u>\$6.3.2. Thuật toán bình sai ghép nối mang lưới GPS trong Hệ tọa độ quốc gia.</u>                                                  | 145-151 |
| <u>\$6.3.3. Sự loại bỏ tư đông việc định vị tam thời điểm gốc khi bình sai riêng rẽ mang lưới GPS trong Hệ tọa độ đông học [ 80].</u> | 151-154 |
| <u>\$6.4. Kết luận chương 6.</u>                                                                                                      | 154     |
| <b>CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT.</b>                                                                                                 | 155-158 |
| <u>\$7.1. Kết luận.</u>                                                                                                               | 155-158 |
| <u>\$7.2. Đề xuất.</u>                                                                                                                | 158     |
| <u>PHỤ LỤC 1 Các tính năng kỹ thuật của các thiết bị thu tín hiệu vệ tinh GPS</u>                                                     | 159-160 |
| <u>PHỤ LỤC 2. Cấu trúc Anten vòng cảm kháng cao tần.</u>                                                                              | 161-162 |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>                                                                                                             | 163-171 |

## LỜI MỞ ĐẦU

Việc phát triển nhanh chóng của công nghệ GPS ngày nay đang mở ra một cuộc cách mạng công nghệ mới trong ngành trắc địa – bản đồ theo hướng không ngừng nâng cao hiệu quả của công tác đo đạc ngoại nghiệp cho đến việc đáp ứng mọi yêu cầu độ chính xác đo đạc thành lập bản đồ địa hình, địa chính các tỷ lệ. Độ chính xác đo đạc GPS ngày nay đạt ở mức mm, thậm trí dưới mm trên các khoảng cách đến một vài ngàn km. Việc phát triển nêu trên không tách rời với việc xây dựng và hoàn thiện không ngừng Khung qui chiếu Quả đất

(International Terrestrial Reference Frame – ITRF) của Tổ chức dịch vụ GPS quốc tế (International GPS Service for Geodynamics – IGS) dựa trên cơ sở triển khai trên thực tế nhiều ý tưởng của các khoa học trắc địa vũ trụ, thiên văn trắc địa và trọng lực được phát triển từ những thập niên 60 – 70 của thế kỷ 20, trong đó đặc biệt là việc xây dựng Hệ tọa độ động học. Trong Báo cáo đề tài này sử dụng nhiều lần thuật ngữ “Động học” là câu tạm dịch từ câu tiếng Anh “Dynamics” và thuật ngữ này cần làm chính xác thêm để thống nhất cách gọi trong giới nghiên cứu trắc địa. Khung qui chiếu Quả đất thực chất là Hệ tọa độ động học quốc tế.

Hệ tọa độ động học là Hệ tọa độ thay đổi theo thời gian trên cơ sở thực hiện các hiệu chỉnh cần thiết do các biến thiên của các tham số Quả đất như sự chuyển động của cực Quả đất, sự biến thiên của tốc độ quay Quả đất, sự thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất v.v. Cho đến ngày hôm nay, độ chính xác định tâm của ellipsoid chung Quả đất GRS-1984 đã đạt ở mức 5 cm so với tâm vật chất của Quả đất. Điều này mở ra khả năng hiện thực cho việc xác định độ chính xác độ cao trắc địa trong ITRF ở mức 5 cm và tạo ra khả năng to lớn cho các quốc gia sử dụng ITRF để xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia nhằm giải quyết các bài toán khoa học - kỹ thuật của trắc địa, ví dụ như xác định mô hình Kvazigeoid chính xác cùng với việc sử dụng các dữ liệu đo đạc trọng lực và đo đạc thủy chuẩn Nhà nước; xây dựng các cơ sở đảm bảo cho việc ứng dụng các công nghệ đo GPS động để đo đạc - thành lập bản đồ v...v. Ngoài ra, việc phát triển mạng lưới các trạm thu thường trực thuộc Hệ tọa độ động học quốc gia còn cho phép giải quyết các bài toán kiểm soát sự biến thiên của tầng điện ly và xác định độ ẩm không khí trong tầng đối lưu phục vụ cho công tác nghiên cứu dự báo khí tượng, nghiên cứu khí hậu và phục vụ cho các mục đích quốc phòng, và tham gia hợp tác quốc tế trong việc phát triển ITRF. Nhiều quốc gia trên thế giới như Liên bang Nga, Trung Quốc, Australia, New Zeland v.v đã sử dụng các thành tựu phát triển của công nghệ GPS và của ITRF để xây dựng Hệ tọa độ động học riêng cho mình.

Hơn 12 năm phát triển ứng dụng công nghệ GPS trong thực tế sản xuất đo đạc – bản đồ ở Việt Nam, chúng ta đã tích lũy đủ kinh nghiệm, đào tạo được đủ đội ngũ chuyên gia chuyên sâu trong lĩnh vực GPS. Việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia là một bước tiến mới có ý nghĩa rất quan trọng trong việc phát triển khoa học – công nghệ trắc địa, đáp ứng các yêu cầu phát triển của công tác đo đạc bản đồ trong thế kỷ 21 và là điều kiện quan trọng để hợp tác với các nước trong khu vực và trên thế giới.

Đề tài này được thực hiện nhằm đáp ứng các mục tiêu khoa học sau:

1. Xác định các hạng và các tiêu chuẩn kỹ thuật của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học Quốc gia;
2. Xác định cơ sở của việc kiểm soát sự thay đổi của dị thường độ cao dưới tác động của sự biến thiên trọng trường Quả đất;
3. Thiết lập quan hệ giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia.

Nhằm đáp ứng mục tiêu thứ nhất, các tác giả đề tài đã tiến hành khảo sát các xu hướng phát triển Hệ tọa độ động học trên thế giới; xác định các chức năng nhiệm vụ của Hệ tọa độ động học quốc gia trong việc hoàn thiện hạ tầng cơ sở trắc địa đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc - thành lập bản đồ các tỷ lệ ở Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu nêu trên được trình bày trong chương 1 của Báo cáo đề tài này. Khi nói đến việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia độ chính xác cao chúng ta không thể không nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác đo đạc GPS và xử lý dữ liệu đo đạc GPS. Các kết quả nghiên cứu này sẽ phục vụ cho việc hoàn thiện quy trình đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn và sử dụng các phần mềm tương thích trong việc xử lý dữ liệu đo đạc GPS để nhận được các vectơ baseline độ chính xác cao với chiều dài lớn. Trong chương 2 sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu nêu trên. Việc phân các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học Quốc gia theo các hạng và xác định các tiêu chuẩn kỹ thuật của từng hạng chủ yếu dựa vào độ chính xác nội suy dị thường độ cao theo phương pháp thủy chuẩn vệ tinh - trọng lực và xác định mật độ các điểm GPS cần thiết để phục vụ cho việc ứng dụng các phương pháp đo tĩnh nhanh (Fast Static), đo GPS động (Real Time Kinematic và Post-Processing Kinematic) trong công tác đo đạc - thành lập bản đồ. Các kết quả nghiên cứu phân hạng các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học Quốc gia và xác định các tiêu chuẩn kỹ thuật của từng hạng sẽ được trình bày trong chương 5 của Báo cáo này.

Tại nhiều khu vực trên thế giới, ví dụ ở phần phía Bắc Capcaz của Liên bang Nga, phần phía Nam của Italia và ở New Zeland xảy ra sự biến thiên lớn của gia tốc lực trọng trường do hoạt động kiến tạo mạnh của vỏ trái đất. ở Nhật

Bản, vùng Cavcaz (Liên bang Nga), khu vực California (Mỹ) sự biến thiên gia tốc lực trọng trường đạt đến 0,06 mgl/1năm. ở Nam ý sự thay đổi gia tốc lực trọng trường đạt đến 0,4 mgl [10], còn ở Newzeland – sự thay đổi gia tốc lực trọng trường đo được 0,3 – 1 mgl [9]. Thông thường sự thay đổi gia tốc lực trọng trường 0,1 mgl sẽ dẫn tới sự thay đổi độ cao đi một đại lượng là 0,32m. Do đó nhiều nước (ví dụ Liên bang Nga) đã đặt việc kiểm soát sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường để đảm bảo sự ổn định của Hệ độ cao quốc gia như một chức năng của Hệ tọa độ động học quốc gia. Chính vì lý do này, đề tài này đã coi việc xác định cơ sở của việc kiểm soát sự thay đổi của dị thường độ cao dưới tác động của sự biến thiên trọng trường Quả đất như một mục tiêu nghiên cứu để làm rõ các cơ sở lý luận của vấn đề này. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu và phân tích ở mục \$1.5, chương 1 và ở mục 4.2, chương 4 của Báo cáo đề tài này cho thấy rằng ở lãnh thổ Việt nam không có các vùng có biến thiên gia tốc lực trọng trường lớn. Do đó trong mục \$1.5, chương 1 đã không đặt ra việc kiểm soát sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường như một chức năng của Hệ tọa độ động học quốc gia ở Việt nam.

Theo các quy định của Quy phạm hiện hành, việc thành lập bản đồ địa hình, địa chính các tỷ lệ lớn và cơ bản phải được thực hiện trong Hệ tọa độ quốc gia. Việc xây dựng Hệ tọa độ động học nhằm đảm bảo cho việc đo đạc GPS độ chính xác cao trong Hệ tọa độ này, nhưng để thành lập bản đồ phải chuyển tọa độ của các điểm GPS cần xác định từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ quốc gia. Do đó việc thiết lập quan hệ giữa Hệ tọa độ động học quốc gia và Hệ tọa độ Quốc gia là công việc cần thiết và là một trong những mục tiêu nghiên cứu của đề tài này. Các kết quả nghiên cứu được trình bày trong chương 6 của Báo cáo khoa học này.

Báo cáo của đề tài bao gồm 7 chương. PGS. TSKH. Hà Minh Hoà biên tập các chương 1,2,3,5,6,7, trong đó chương 1 cùng biên tập với GS. TSKH. Đặng Hùng Võ, chương 2 cùng biên tập với TS. Nguyễn Ngọc Lâu và TS. Lê Trung Chơn. GS. TSKH. Phạm Hoàng Lân biên tập chương 4. PGS. TS. Trần Đình Tô nghiên cứu về phần mềm BERNESE.

Mặc dù nhóm nghiên cứu đã có nhiều cố gắng, nhưng báo cáo đề tài có thể vẫn còn những khiếm khuyết nhất định. Rất mong được sự đóng góp chân thành của các đồng nghiệp.

## **CHƯƠNG 1. CÁC HIỆN TƯỢNG ĐỊA ĐÔNG HỌC VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CHÚNG ĐẾN VIỆC XÁC ĐỊNH HỆ TOA ĐỘ ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG LĨNH VỰC TRẮC ĐỊA.**

### **\$1.1. Khái niệm về các Hệ tọa độ định vị không gian và định vị Quả đất.**

Để xác định vị trí của các đối tượng cần quan tâm trong không gian ngoài Quả đất hoặc trên bề mặt vật lý của Quả đất, trong lĩnh vực trắc địa sử dụng rộng rãi Hệ tọa độ không gian địa tâm.

Mọi Hệ tọa độ không gian địa tâm đều được xác định dựa trên 3 điểm đặc trưng:

- Gốc của Hệ tọa độ trùng với hoặc gần trùng với tâm vật chất của Quả đất;
- Cực Quả đất;
- Một điểm qui ước nằm trên mặt phẳng xích đạo của Quả đất.

Để xác định quỹ đạo của các vật thể nằm trong không gian ngoài Quả đất (các thiên thể, vệ tinh) cần sử dụng Hệ tọa độ không gian địa tâm không gắn với sự quay ngày đêm của Quả đất. Hệ tọa độ này được gọi là Hệ tọa độ sao (Selectial Coordinate System – SCS)  $oxyz$  có gốc tọa độ  $o$  trùng với tâm vật chất Quả đất, trục  $oz$  hướng từ gốc tọa độ theo trục quay của Quả đất lên cực Quả đất; trục  $ox$  nằm trên mặt phẳng xích đạo của Quả đất và hướng tới điểm xuân phân  $\gamma$  nằm ngoài Quả đất; trục  $oy$  nằm trên mặt phẳng Quả đất và vuông góc với trục  $ox$  để tạo nên Hệ tọa độ không gian bên phải.

Điểm xuân phân  $\gamma$  là điểm qui ước được nhận là điểm giao của quỹ đạo mặt trời (đường hoàng đạo - elliptic) với mặt phẳng xích đạo Quả đất mà tại đó vào ngày 21 tháng 3 hàng năm xuất hiện tâm đĩa mặt trời. Do điểm xuân phân nằm trong không gian ngoài Quả đất, nên Hệ tọa độ sao còn được gọi là Hệ tọa độ định vị không gian (Space – Fixed Coordinate System).

Với mục đích xác định vị trí của các đối tượng nằm trên bề mặt Quả đất, đặc biệt để thành lập bản đồ hoặc dẫn đường cho các đối tượng chuyển động (máy bay, ô tô, tàu thủy....) người ta sử dụng Hệ tọa độ không gian Quả đất  $OXYZ$ . Hệ tọa độ này có gốc  $O$  là tâm ellipsoid chung Quả đất được định vị sao cho tâm ellipsoid gần nhất hoặc trùng với tâm vật chất Quả đất; trục  $OZ$  song song với trục quay của Quả đất và đi qua cực Quả đất qui ước; trục  $OX$  nằm trên mặt phẳng xích đạo của ellipsoid và nằm trong mặt phẳng kinh tuyến đi qua đài

thiên văn Green Wich (Anh); trục OY nằm trong mặt phẳng xích đạo của ellipsoid và vuông góc với trục OX sao cho tạo nên Hệ toạ độ không gian Quả đất bên phải.

Để xác định sự chuyển động của cực trái đất, trong những năm 1900-1905 người ta đã sử dụng gốc qui ước quốc tế (Conventional International Origin – CIO). Khi sử dụng các số cải chính do ảnh hưởng của chương động, điểm này trở thành cực Quả đất qui ước (Conventional Terrestrial Pole - CTP). Hiện nay, cực Quả đất qui ước 1984 do cơ quan giờ quốc tế (Beauro of International Hour – BIH) xác định được chọn làm cực Quả đất qui ước để xây dựng Hệ toạ độ không gian Quả đất [1].

Các điểm đặc trưng để xây dựng Hệ toạ độ không gian Quả đất đều gắn liền với Quả đất. Do đó Hệ toạ độ không gian Quả đất còn được gọi là Hệ toạ độ định vị Quả đất (Earth – Fixed Coordinate System).

Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ GPS, nhiều tổ chức quốc tế hoặc nhóm nước đã xây dựng các Hệ toạ độ không gian Quả đất riêng cho mình. Các Hệ toạ độ này được gọi là Hệ thống qui chiếu Quả đất quốc tế (International Terrestrial Reference System – ITRS). Ellipsoid chung Quả đất được chọn là ellipsoid GRS – 1980 (Geodetic Reference System – 1980) với các tham số như sau:

- Bán trục lớn  $a = 6\,378\,137\text{ m}$ ;
- Hằng số trọng trường  $f \cdot M = 3\,986\,005 \times 10^8\text{ M}^3/\text{S}^2$ ;
- Hệ số điều hoà vùng:  $j_2 = 108\,263 \cdot 10^{-8}$ ;
- Tốc độ quay của Quả đất:  $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}\text{ Rad/S}$ .

Theo [2], bán trục lớn của ellipsoid chung Quả đất hiện nay được xác định bằng  $6\,378\,136,46\text{ m}$ .

### **\$1.2. Hệ toạ độ sao và mối quan hệ của nó với Hệ toạ độ không gian Quả đất.**

Như đã trình bày ở mục \$1.1, Hệ toạ độ sao được sử dụng để xác định quỹ đạo chuyển động của các vệ tinh nhân tạo và các thiên thể trong không gian ngoài Quả đất.

Tuy nhiên, Hệ toạ độ sao không cố định theo thời gian. Dưới sự tác động của trọng trường mặt trăng, mặt trời đã xảy ra hiệu ứng tuế sai (Precession) và chương động (Nutation). Các hiệu ứng này làm thay đổi trục quay của Quả đất.

Kết quả là vị trí của mặt phẳng xích đạo Quả đất và điểm xuân phân  $\gamma$  thay đổi trong không gian. Theo [3], dưới tác động của hiệu ứng tuế sai, kinh độ sao  $\lambda$  thay đổi khoảng 50'' trong vòng 1 năm, còn hiệu ứng chương động làm thay đổi cả kinh độ sao lẫn vĩ độ sao và có biên độ cực đại khoảng 20''.

Hiệu ứng chương động có dao động nhanh với chu kỳ từ 14 ngày đêm đến 18,6 năm. Hiệu ứng tuế sai có chu kỳ khoảng 26 000 năm. Khi loại bỏ ảnh hưởng của các hiệu ứng này, chúng ta có xích đạo Quả đất trung bình và điểm xuân phân trung bình.

Do đó, trong thực tế không thể lưu giữ được các tọa độ sao thực của các vệ tinh, các thiên thể theo từng thời điểm bất kỳ. Người ta phải xác định Hệ tọa độ sao với cực trung bình của Quả đất, điểm xuân phân trung bình và xích đạo Quả đất trung bình vào từng thời điểm chuẩn (Standard epoch) xác định. Hệ tọa độ sao được xác định như vậy được gọi là Hệ tọa độ sao quán tính (Inertial Celestial Reference System – ICRS). Tên gọi này xuất phát từ thực tế là các cực trung bình của Quả đất vào các thời điểm chuẩn khác nhau sẽ chuyển động thẳng đều so với các ngôi sao xa [4].

Liên hiệp thiên văn quốc tế (International Astronomical Union – IAU) đã xác định được các biểu thức toán học mô tả vị trí của trục quay Quả đất như hàm của thời gian dưới tác động của hiệu ứng chương động [1]. Các biểu thức toán học này được phát triển bởi Wahr J.M [5] và được phản ánh trong “1980 IAU Theory of Nutation”.

Các công thức tính các số hiệu chỉnh vào tọa độ sao dưới ảnh hưởng của các hiệu ứng tuế sai và chương động được cung cấp bởi tổ chức Dịch vụ quay Quả đất quốc tế (International Earth Rotation Service – IERS).

Liên hiệp thiên văn quốc tế và Hội trắc địa quốc tế (International Association of Geodesy – IAG) đã ra nghị quyết [3]:

*Các Hệ qui chiếu sao qui ước ra đời sau năm 1984 được xác định bởi vị trí của xích đạo Quả đất và điểm xuân phân vào thời điểm chuẩn 12<sup>h</sup> TDB ngày 1 tháng 1 năm 2000 và được ký hiệu J2000.*

Như vậy, tọa độ sao của các vệ tinh, các thiên thể được xác định vào thời điểm nào đó (theo giờ sao) đều được chuyển về J2000 để lập danh mục tọa độ khi tính đến các hiệu ứng tuế sai và chương động. Với mục đích sử dụng tọa độ sao của vệ tinh, các thiên thể vào thời điểm nào đó (theo giờ sao) phải chuyển

tọa độ sao từ j2000 về thời điểm đó dựa trên các công thức có tính đến ảnh hưởng của các hiệu ứng tuế sai và chương động.

Cơ quan trung tâm của tổ chức IERS bao gồm Viện địa lý quốc gia (Institut Geographique National) của Pháp và Đài quan sát Paris. Viện địa lý quốc gia có trách nhiệm triển khai Hệ thống qui chiếu Quả đất quốc tế (International Terrestrial Reference System – ITRS) dựa trên khung qui chiếu Quả đất quốc tế (International Terrestrial Reference Frame – ITRF), còn Đài quan sát Paris có trách nhiệm triển khai khung qui chiếu sao quốc tế (International Celestial Reference Frame – ICRF) và xác định chuyển động cực của Quả đất [6]. Các tổ chức này thực hiện việc nghiên cứu xác định ICRF, các công thức chuyển đổi tọa độ sao từ j2000 về thời điểm cần quan tâm, xác định chuyển động của cực tức thời so với cực Quả đất qui ước và nghiên cứu sự không ổn định của tốc độ quay của Quả đất.

Tọa độ sao của các vệ tinh GPS vào các thời điểm cần quan tâm được xác định với độ chính xác rất cao trong Hệ tọa độ sao. Việc chuyển tọa độ sao  $x, y, z$  của vệ tinh vào thời điểm qui chiếu nào đó về Hệ tọa độ không gian Quả đất được thực hiện theo công thức sau [3]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos xp & 0 & \sin xp \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin xp & 0 & \cos xp \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos yp & \sin yp \\ 0 & -\sin yp & \cos yp \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos S & -\sin S & 0 \\ \sin S & \cos S & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad (1.1)$$

ở đây  $X, Y, Z$  – tọa độ của vệ tinh vào thời điểm qui chiếu trong Hệ tọa độ không gian Quả đất;  $xp, yp$  – tọa độ cực Quả đất tức thời so với cực Quả đất qui ước (đơn vị giây cung;  $S$  – góc giờ sao trên kinh tuyến Greenwich vào thời điểm qui chiếu.

Theo [61], góc giờ sao trên kinh tuyến Greenwich  $S$  vào thời điểm thu tín hiệu vệ tinh  $t$  (theo thang thời gian GPST) được tính theo công thức sau:

$$St = S_{week} + \omega \cdot t,$$

ở đây  $S_{week}$  – góc giờ sao trên kinh tuyến Greenwich vào nửa đêm của ngày thứ bảy chuyển sang ngày chủ nhật (vào thời điểm khởi đầu của một tuần lễ GPS theo thang GPST),  $\omega$  – tốc độ góc của sự quay của Quả đất.

Góc giờ sao trên kinh tuyến Greenwich (Greenwich Apparent Sidereal Time – GAST) có thể được tính theo công thức sau [3]:

$$S = S_0 + \Delta\psi \cdot \cos \varepsilon,$$

ở đây

$$S_0 = \bar{S}_0 + \left(\frac{dS}{dt}\right) \cdot UT_1,$$

$\bar{S}_0$  - Góc giờ sao vào nửa đêm của ngày cần quan tâm trên kinh tuyến Greenwich:

$$\bar{S}_0 = 6^h 11^m 6^s 50^s,5481 + 8640184^s,812866 \cdot T + 0^s,093104 \cdot T^2 - 0^s,0000062 \cdot T^3;$$

$$\frac{dS}{dt} = 1,002737909350795 + 5,9006 \cdot 10^{-11} \cdot T - 5,9 \cdot 10^{-5} \cdot T^2;$$

$$UT_1 = UTC + (UT_1 - UTC) - \text{thời gian trong hệ thống giờ } UT_1;$$

$$UT_1 - UTC \text{ độ chênh của thang thời gian UTC so với thang thời gian } UT_1;$$

$\Delta\psi$  - chương động trong kinh độ.

Tỷ số  $\frac{dS}{dt}$  nêu trên biểu diễn sự thay đổi giá trị của tốc độ quay  $\omega$  của Quả đất theo thời gian.

Bởi vì góc giờ sao  $St$  luôn chịu ảnh hưởng của sự quay không đồng đều của Quả đất, nên từ công thức (1.1) có thể nhận thấy rằng độ chính xác của tọa độ  $X, Y, Z$  của vệ tinh trong Hệ tọa độ không gian Quả đất phụ thuộc vào 2 hiện tượng địa động học: sự chuyển động của cực Quả đất so với cực Quả đất qui ước và sự quay không đồng đều của Quả đất.

Như đã chỉ ra trong [7], 3 tham số  $x_p, y_p, S$  trong công thức (1.1) tương ứng với 3 góc xoay Ole của các trục  $oy, ox, oz$  của Hệ tọa độ sao so với các trục  $OY, OX, OZ$  của Hệ tọa độ không gian Quả đất. Như vậy công thức (1.1) còn chưa tính tới sự lệch của tâm ellipsoid chung Quả đất (là gốc của Hệ tọa độ không gian Quả đất) so với tâm vật chất của Quả đất (là gốc của Hệ tọa độ sao). Độ lệch này được đặc trưng bởi các tham số  $x_0, y_0, z_0$  là tọa độ của tâm vật chất Quả đất trong Hệ tọa độ không gian Quả đất.

Việc không tính đến độ lệch nêu trên sẽ dẫn đến sai số lớn trong độ cao trắc địa được đặc trưng bởi đại lượng [8]:

$$\delta H = \cos B \cdot \cos L \cdot x_0 + \cos B \cdot \sin L \cdot y_0 + \sin B \cdot z_0. \quad (1.2)$$

Từ đây có thể thấy rằng trong kỷ nguyên ứng dụng công nghệ GPS để giải quyết các bài toán trắc địa độ chính xác cao cả về vị trí mặt bằng lẫn độ cao ngày

càng đòi hỏi phải định vị chính xác tâm ellipsoid chung Quả đất vào tâm vật chất của Quả đất. Bài toán nêu trên được giải quyết nhờ các phương pháp của trắc địa vũ trụ. Mặt khác do sự xê dịch lớp vật chất của khí quyển, nên xảy ra sự xê dịch tâm vật chất Quả đất (tương ứng với mặt vật lý của nó) với biến thiên cỡ một vài *mm* trong vòng 1 năm [7]. Do đó việc định vị chính xác tâm ellipsoid chung Quả đất vào tâm vật chất của Quả đất và hiệu chỉnh ITRF thường được tiến hành theo định kỳ một vài năm một lần.

Theo [1,17], độ chính xác định vị tâm ellipsoid chung Quả đất WGS-84 và PZ-90 vào tâm vật chất của Quả đất ở mức 2m. Do đó khi sử dụng các hệ tọa độ WGS-84 và PZ-90 chúng ta chỉ có thể nhận được độ cao trắc địa với độ chính xác ở mức 2m.

Như vậy các hiện tượng địa động học như sự chuyển động của cực Quả đất so với cực Quả đất qui ước, sự quay không đồng đều của Quả đất và sự xê dịch tâm vật chất Quả đất là các nhân tố cơ bản ảnh hưởng đến độ chính xác chuyển đổi tọa độ sao của vệ tinh về Hệ tọa độ không gian Quả đất.

Khung qui chiếu Quả đất quốc tế (ITRF) được hiệu chỉnh hàng năm dựa trên các dữ liệu đo các đường đáy giao thoa cạnh dài (VLBI), đo Laze đến vệ tinh (Satellite Lazer Ranging – SLR), GPS, đo Lazer đến mặt trăng (Lunar Laze Ranging – LLR). Các dữ liệu nêu trên cho phép nghiên cứu sự chuyển dịch cực Quả đất, sự không ổn định của tốc độ quay của Quả đất, định vị tâm ellipsoid GRS – 1980 vào tâm vật chất của Quả đất. Theo [1], tâm của ITRF-96 lệch so với tâm vật chất Quả đất ở mức 10 cm. Tuy nhiên đối với các ITRF-97 và ITRF-2000 độ chính xác của việc định tâm ITRF vào tâm vật chất đã đạt đến mức 5 cm. Điều này đảm bảo việc xác định lịch vệ tinh ở mức độ chính xác 5cm. Do đó việc sử dụng ITRF-yy, ở đây yy- năm xác định ITRF, và sử dụng lịch vệ tinh chính xác được xác định trong ITRF – yy sẽ cho phép sử dụng công nghệ GPS để xác định tọa độ không gian độ chính xác cao của các điểm trên mặt vật lý của Quả đất trong ITRF-yy, thêm vào đó có thể nhận được độ cao trắc địa với độ chính xác ở mức 5 cm. Điều này mở ra triển vọng xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học quốc gia dựa trên ITRF-yy đảm bảo xác định cả vị trí mặt bằng lẫn độ cao của các điểm trắc địa với độ chính xác rất cao, thêm vào đó độ cao trắc địa của các điểm thuộc các mạng lưới GPS với độ chính xác ở mức 5cm là cơ sở quan trọng để xây dựng mô hình geoid (hoặc Kvazigeoid) chính xác dựa trên sự phối hợp sử dụng cả các dữ liệu trọng lực chi tiết và thủy chuẩn hình học.

### **§1.3. Các hiện tượng địa động học toàn cầu.**

Các hiện tượng địa động học toàn cầu bao gồm chuyển động cực của Quả đất, sự thay đổi vị trí của tâm vật chất Quả đất và trục quán tính của nó, sự quay không đồng đều của Quả đất, sự thay đổi của mực nước biển, sự biến thiên của địa thế năng theo thời gian, các hiện tượng triều của Quả đất và đại dương.

Theo [7] năm 1958 Molodenki M.X. đã đưa ra khái niệm về **trắc địa động** (Kinematic geodesy) và **trắc địa động học** (Dynamic geodesy), theo đó trắc địa động nghiên cứu sự thay đổi vị trí của các điểm trên bề mặt Quả đất và sự biến thiên của trọng trường Quả đất, còn trắc địa động học nghiên cứu các lực là các nguyên nhân gây ra sự biến thiên của các tham số đặc trưng cho Quả đất. Các hiện tượng biến thiên của các tham số đặc trưng cho Quả đất được gọi là các hiện tượng địa động học. Do đó Hệ tọa độ được hiệu chỉnh thường xuyên nhờ các kết quả nghiên cứu các hiện tượng địa động học được gọi là **Hệ tọa độ động học**.

Trong [65] cũng nhấn mạnh rằng “dynamic datums” chỉ Hệ tọa độ mà ở đó tọa độ thay đổi như hàm của thời gian.

Lĩnh vực trắc địa động nghiên cứu sự chuyển dịch của vỏ trái đất dưới sự tác động của một số hiện tượng địa động học. Khi nghiên cứu vấn đề này đòi hỏi Hệ tọa độ được sử dụng để nghiên cứu chuyển dịch vỏ trái đất phải cố định. Do đó khi sử dụng khung qui chiếu Quả đất ITRF-yy của Tổ chức IGS cần qui chiếu các dữ liệu đo GPS ở các khung qui chiếu khác nhau về khung qui chiếu thống nhất được lựa chọn để xác định tốc độ chuyển dịch vỏ trái đất. Ngoài ra để đáp ứng các yêu cầu của bài toán này, các điểm trắc địa không được bố trí tùy tiện trên bề mặt Quả đất mà phải theo sự chỉ dẫn của các nhà địa chất.

Trái lại, lĩnh vực trắc địa động học xác định sự biến thiên của các tham số đặc trưng cho Quả đất như sự biến thiên của tốc độ quay của Quả đất; của hằng số trọng trường địa tâm; của tâm vật chất của Quả đất; của trọng trường của Quả đất; sự chuyển động cực của Quả đất...v.v để hiệu chỉnh thường xuyên Hệ tọa độ động học. Các ITRF-yy của Tổ chức IGS được hoàn thiện thường xuyên chính là nhờ các kết quả nghiên cứu của lĩnh vực trắc địa động học. Đối với mỗi Quốc gia trên thế giới, Hệ tọa độ Quốc gia là cơ sở quan trọng nhất để đo đạc – thành lập bản đồ. Do đó việc đặt ra bài toán xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia dựa trên công nghệ GPS chủ yếu là nhằm mục đích sử dụng các thành tựu nghiên cứu các hiện tượng địa động học của Tổ chức IGS để giải quyết các bài toán khoa học – kỹ thuật của trắc địa cao cấp như phục vụ việc nghiên cứu mô hình geoid

(hoặc Kvazigeoid) chính xác trên lãnh thổ Quốc gia, hoàn thiện Hệ tọa độ Quốc gia và đảm bảo cơ sở đo đạc GPS độ chính xác cao v...v. Các điểm trắc địa thuộc Hệ tọa độ động học Quốc gia chủ yếu trùng với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia. Các vấn đề thiết lập cơ sở khoa học của việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia sẽ được nghiên cứu trong đề tài này.

Tiếp theo đây chúng ta sẽ xem xét một số hiện tượng địa động học và các kết quả nghiên cứu chúng trên thế giới.

Theo [1], tầng thạch quyển (Lithosphere) với bề dày 100km được phân chia thành khoảng 20 lớp chuyển động độc lập với nhau với tốc độ 1–10cm/năm. Sự chuyển động này được gây ra bởi các chuyển động của các lớp vật chất của Quả đất và là một trong những nguyên nhân gây ra sự chuyển động của cực Quả đất qui ước (CTP).

Sự xô dịch của trục quay Quả đất trong lòng Quả đất với biên độ khoảng 18m hoặc  $3 \cdot 10^{-6} \cdot R$ , ở đây R- bán kính Quả đất [7]. Chuyển động của cực Quả đất tuân theo chuyển động Chandler với chu kỳ 428 ngày đêm được nghiên cứu kỹ càng.

Bằng các phương pháp thiên văn, sau đó nhờ đồng hồ nguyên tử, phân tử đã xác định được sự chậm dần thế kỷ của sự quay của Quả đất với tốc độ [7]

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = (-2,37 \pm 0,55) \cdot 10^{-8} \text{ trong 1 thế kỷ}$$

do sự cản của các hiện tượng thủy triều ở các biển và đại dương (ở mức  $3,72 \times 10^{-8}$ ) và gia tốc tăng thế kỷ (ở mức  $1 \times 10^{-8}$ ) mà nguyên nhân còn chưa rõ.

Sự phân bố lại vật chất theo mùa gây ra sự biến thiên của tốc độ quay Quả đất ở mức  $\frac{\Delta\omega}{\omega} = 0,6 \cdot 10^{-8}$  với chu kỳ từ 2 tuần đến 1 năm.

Hiện nay đã phát hiện được sự thay đổi không chính qui của tốc độ quay Quả đất ở mức  $2 \cdot 10^{-8}$  trong khoảng thời gian 2–18 năm. Nguyên nhân của sự thay đổi này hiện chưa xác định được.

Từ các kết quả đo lập gia tốc lực trọng trường nhờ phương pháp đo tuyệt đối đã phát hiện được sự biến thiên trọng trường Quả đất vào khoảng 0,01–0,02 mg/l/năm. ở Nhật Bản, vùng Cavcaz (Liên Xô cũ), khu vực California (Mỹ) sự biến thiên gia tốc lực trọng trường đạt đến 0,06 mg/l/năm. ở Nam ý sự thay đổi gia tốc lực trọng trường đạt đến 0,4 mg/l [10], còn ở Newzeland – sự thay đổi gia tốc lực trọng trường đo được 0,3–1 mg/l [9].

Nguyên nhân của sự biến thiên gia tốc lực trọng trường bao gồm sự không đồng đều của tốc độ quay của Quả đất; sự phân bố lại vật chất trong lòng Quả đất theo mùa; hoạt động của núi lửa, động đất; việc xây dựng các hồ chứa nước và khai thác mỏ của con người..v.v.. [40, c.61].

Sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường dẫn đến sự biến thiên giá trị hiệu dị thường độ cao được xác định dựa trên kết quả đo trọng lực chi tiết. Điều này sẽ gây khó khăn cho việc sử dụng phương pháp thủy chuẩn vệ tinh - trọng lực để xác định hiệu độ cao chuẩn giữa các điểm của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học quốc gia và các điểm cần xác định khác. Do đó khi xây dựng Hệ tọa độ động học cần xác định các biện pháp để kiểm soát sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường trong phạm vi lãnh thổ của đất nước.

Việc nghiên cứu sự chuyển động của cực Quả đất và sự không đồng đều của tốc độ quay Quả đất được thực hiện chủ yếu nhờ phương pháp đường đáy giao thoa cạnh dài và phương pháp đo Lazer đến mặt trăng. Việc nghiên cứu này được thực hiện bởi tổ chức IERS.

#### **§1.4. Tổ chức Dịch vụ GPS quốc tế (IGS) và các sản phẩm nhận được từ tổ chức này để xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia.**

Cuộc họp của Hội trắc địa quốc tế (IAG) vào tháng 8 năm 1989 tại Edinburgh (Vương quốc Anh) được coi là điểm khởi đầu của tổ chức Dịch vụ GPS quốc tế cho địa động học (International GPS Service for Geodynamics – IGS) [11].

Cho đến ngày nay, tổ chức IGS bao gồm các đơn vị sau [12]:

1. Cơ quan điều hành quốc tế (International Governing board).
2. Cục trung tâm IGS (IGS Central Bureau) có trách nhiệm điều phối và quản lý các hoạt động của tổ chức IGS, điều hành và kiểm soát hoạt động của mạng lưới IGS, đảm bảo chất lượng của dữ liệu; điều hành Trung tâm thông tin của tổ chức này.
3. Các Trung tâm dữ liệu toàn cầu và khu vực (Global and Regional Data Centers).

Các Trung tâm dữ liệu điều hành (Operational Data Centers) có trách nhiệm ghi lại các dữ liệu đo GPS từ các máy thu trên các điểm của mạng lưới IGS; biến đổi các dữ liệu này và chuyển đổi chúng về file RINEX; kiểm soát trạng thái của các trạm thu; gửi các files dữ liệu tương ứng về các Trung tâm dữ liệu toàn cầu và khu vực.

Các Trung tâm dữ liệu khu vực lưu giữ tất cả các dữ liệu từ các khu vực địa lý khác nhau để đáp ứng một số các ứng dụng cho các khu vực đó.

Các Trung tâm dữ liệu toàn cầu tổ chức các files dữ liệu dựa trên các vị trí của các trạm thu và thời gian thu thập dữ liệu; thực hiện giao diện với các Trung tâm phân tích và người sử dụng; lưu giữ tất cả các dữ liệu được Trung tâm phân tích sử dụng và tất cả các sản phẩm tính toán của tổ chức IGS.

4. Các Trung tâm phân tích (Analysis Centers) lựa chọn các dữ liệu từ các Trung tâm dữ liệu toàn cầu để tiến hành xác định các quỹ đạo vệ tinh; xác định tọa độ và tốc độ chuyển dịch của các trạm thu thuộc mạng lưới IGS trong ITRF-yy; xác định các tham số định hướng Quả đất; đánh giá các sai số đồng hồ của các vệ tinh GPS; các thông tin về tầng đối lưu và tầng điện ly; phân tích mật độ của các mạng lưới khu vực và thực hiện ghép nối các mạng lưới khu vực với mạng lưới toàn cầu.

Các Trung tâm phân tích IGS hiện nay bao gồm Viện thiên văn thuộc Trường đại học tổng hợp Bern (Thụy Sĩ); Trung tâm điều khiển vũ trụ Châu Âu nằm ở Tây Đức; Trung tâm phân tích FLINN và phòng thí nghiệm phản lực (Jet Propulsion Laboratory) của Mỹ; phòng thí nghiệm khoa học Quả đất (NGS – Mỹ); cơ quan các nguồn tự nhiên của Canada; Viện đại dương học (Mỹ).v.v...

Ngoài các đơn vị nêu trên, tổ chức IGS còn có cơ quan điều phối các Trung tâm phân tích (Analysis Center Coordinator); cơ quan điều phối khung qui chiếu (Reference Frame Coordinator), các nhóm làm việc và các dự án thử nghiệm (Working groups and Pilot Projects).

Mạng lưới IGS bao gồm 52 trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS (tính cho đến năm 1999). Theo thiết kế, mạng lưới này bao gồm cỡ 200–250 trạm thu bao phủ toàn cầu đảm bảo để người sử dụng bất kỳ ở trong khoảng 1500–2000 km cách trạm qui chiếu chính xác có thể thu tín hiệu vệ tinh và sử dụng được các dịch vụ của tổ chức IGS. Hiện nay tổ chức IGS đang có kế hoạch tăng dày mật độ của các trạm thu đến 1000 km / 1 trạm. Đây là cơ hội để các nước, trong đó có Việt Nam tham gia vào các hoạt động của Tổ chức IGS.

Các sản phẩm của tổ chức IGS bao gồm các dữ liệu đảm bảo cho người sử dụng:

- Truy nhập tới và cập nhật được sự phát triển liên tục của khung qui chiếu Quả đất quốc tế (ITRF); thu nhận được vị trí và tốc độ chuyển dịch của các trạm thu cùng các tham số quay của Quả đất;

- Nhận được quỹ đạo vệ tinh chính xác;
- Nhận được các mô hình sai số đồng hồ của các vệ tinh GPS;
- Các tham số đặc trưng cho độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh (Tropo Sphere Zenit Path Delay – TZPD).

Chất lượng các sản phẩm nhận được từ tổ chức IGS phản ánh ở bảng dưới đây [12].

| Sản phẩm                                                                                  | Thời gian nhận được kết quả                  | Khoảng dân cách thời gian | Độ chính xác                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 1. Quỹ đạo vệ tinh<br>- Dự báo<br>- Nhanh<br>- Cuối cùng                                  | Thời gian thực<br>17 <sup>h</sup><br>10 ngày | 15 cm<br>15 cm<br>15 cm   | 50 cm<br>10 cm<br>5 cm                           |
| 2. Đồng hồ vệ tinh<br>- Dự báo<br>- Nhanh<br>- Cuối cùng                                  | Thời gian thực<br>17 <sup>h</sup><br>10 ngày | 15 m<br>15 m<br>15 m      | 150 m<br>0,5 m<br>0,3 m                          |
| 3. Các trạm IGS<br>- Toạ độ<br>- Tốc độ chuyển dịch                                       | 2 – 4 tuần<br>2 – 4 tuần                     | 7 ngày<br>7 ngày          | 1 – 5 mm<br>1 – 3 mm/1năm                        |
| 4. Các tham số quay của Quả đất<br>- Chuyển động cực nhanh<br>- Chuyển động cực cuối cùng | 17 <sup>h</sup><br>10 ngày                   | 1 ngày<br>1 ngày          | 2'' · 10 <sup>-4</sup><br>1'' · 10 <sup>-4</sup> |
| 5. TZPD                                                                                   | < 4 tuần                                     | 2 <sup>h</sup>            | 4mm                                              |

Độ chính xác xác định quỹ đạo vệ tinh của Tổ chức IGS được nâng cao không ngừng. Theo [56], Trung tâm xác định quỹ đạo ở Châu Âu (The Center for Orbit Determination in Europe–CODE) đã đạt được mức độ chính xác quỹ đạo vệ tinh ở mức 10cm vào cuối năm 1994, ở mức 6cm vào cuối năm 1995 và ở mức 4 cm vào giữa năm 1997. Để đánh giá ước tính, chúng ta nhận 2 mức độ chính xác: 10 cm (mức 1) và 5 cm (mức 2).

Giả thiết rằng các nguồn sai số cơ bản trong giả cự ly  $\rho$  - khoảng cách từ máy thu đến vệ tinh - đều được loại trừ, ngoài sai số quỹ đạo vệ tinh. Khi đó theo [1]

$$\frac{m_s}{S} = \frac{m_\rho}{\rho}, \quad (1.3)$$

ở đây  $m_p$  - sai số trung phương của khoảng cách  $\rho$  được gây ra bởi sai số vị trí của vệ tinh, thêm vào đó sai số  $m_p$  được đánh giá theo độ chính xác của lịch vệ tinh;  $m_s$  – sai số trung phương của chiều dài  $S$  của baseline cần xác định bằng công nghệ GPS theo phương pháp đo tương đối.

Nhận  $\rho = 20.000.000$  m. Với độ chính xác vị trí vệ tinh khác nhau, từ (1.3) chúng ta có bảng 1.1

Bảng 1.1

| Loại lịch vệ tinh       | $m_p$  | $\frac{m_s}{S}$     |
|-------------------------|--------|---------------------|
| Lịch vệ tinh chính xác. |        |                     |
| <u>Mức 1</u>            | 0,05 m | $2,5 \cdot 10^{-9}$ |
| <u>Mức 2</u>            | 0,1 m  | $5 \cdot 10^{-9}$   |

Tỷ số  $m_p/\rho$  có thể biểu diễn qua công thức:

$$\frac{m_p}{\rho} = \alpha \cdot 10^{-\beta}, \quad (1.4)$$

ở đây các hệ số  $\alpha$  và  $\beta$  được xác định theo mức độ chính xác của lịch vệ tinh được sử dụng.

Thay (1.4) vào (1.3) chúng ta có:

$$m_s = \alpha \cdot 10^{-\beta} \cdot S. \quad (1.5)$$

Dựa trên bảng 1.1 và công thức (1.4) chúng ta sẽ có bảng các hệ số  $\alpha$  và  $\beta$  theo các mức độ chính xác của lịch vệ tinh.

Bảng 1.2

| Mức độ chính xác | $\alpha$ | $\beta$ |
|------------------|----------|---------|
| 1      5 cm      | 2,5      | 9       |
| 2      10 cm     | 5        | 9       |
| 3      0,2 m     | 1        | 8       |
| 4      2m        | 1        | 7       |
| 5      5m        | 2,5      | 7       |
| 6      20 m      | 1        | 6       |

Từ kết quả của bảng 1.2 và công thức (1.5) sẽ tiến hành đánh giá ước tính độ chính xác xác định chiều dài baseline bằng công nghệ GPS trên các khoảng cách S khác nhau.

Bảng 1.3

| S (km)     | Mức độ chính xác lịch vệ tinh | $m_s$ (mm) |
|------------|-------------------------------|------------|
| 900 ÷ 1000 | 1                             | 2.2 – 2.5  |
|            | 2                             | 4.5 – 5.0  |
| 600 ÷ 800  | 1                             | 1.5 – 2.0  |
|            | 2                             | 3.0 – 4.0  |
| 300 ÷ 500  | 1                             | 0.8 – 1.2  |
|            | 2                             | 1.5 – 2.5  |
| 80 ÷ 100   | 1                             | 0.2        |
|            | 2                             | 0.4 – 0.5  |
| 50 ÷ 70    | 2                             | 0.2 – 0.4  |
|            | 2                             | 0.1 – 0.2  |

Các số liệu ở các bảng 1.2 và 1.3 sẽ được sử dụng tiếp theo để tính toán ước tính trong chương 5.

Viện địa lý quốc gia Pháp và Đài quan sát Paris thuộc tổ chức IERS sử dụng tất cả các dữ liệu đo nhờ các hệ thống DORIS, SLR, LLR, VLBI và GPS để xây dựng khung qui chiếu Quả đất quốc tế (ITRF), khung qui chiếu sao quốc tế (ICRF) và xác định chuyển động cực của Quả đất. Vì lý do này, tiểu ban ITRF của tổ chức IERS phối hợp rất chặt chẽ với các đơn vị của tổ chức IGS như Cục trung tâm IGS, các Trung tâm phân tích và các trạm thu để phân tích các kết quả tính toán của các Trung tâm phân tích IGS và sử dụng các dữ liệu của IGS nhằm xác định tọa độ của các trạm ITRF [6].

Về phần mình, các Trung tâm phân tích IGS sử dụng tọa độ ITRF để tính toán quỹ đạo vệ tinh chính xác. Do đó các lịch vệ tinh IGS được xác định trong ITRF.

Sự phối hợp giữa các tổ chức IGS và IERS làm tăng mật độ của mạng lưới các trạm ITRF và đảm bảo việc xác định tọa độ của các điểm ITRF và các trạm qui chiếu IGS ở mức mm trong ITRF. Cho đến năm 1999, mạng lưới ITRF gồm

243 điểm ITRF và 52 trạm qui chiếu IGS. Bảng dưới đây trình bày một số thông tin về các ITRF-yy.

| ITRF | Thời điểm bắt đầu | Thời điểm kết thúc | Số lượng các trạm qui chiếu IGS |
|------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| 92   | 2/1/1994          | 31/12/1994         | 13                              |
| 93   | 1/1/1995          | 29/6/1996          | 13                              |
| 94   | 30/6/1996         | 28/2/1998          | 13                              |
| 96   | 1/3/1998          | 31/7/1999          | 47                              |
| 97   | 1/8/1999          | đến nay            | 52                              |

Việc hiệu chỉnh thường xuyên ITRF dựa trên các kết quả nghiên cứu mới nhất về các hiện tượng địa động học như chuyển động của cực Quả đất, sự biến thiên của tốc độ quay của Quả đất, sự chuyển dịch của tâm vật chất Quả đất và việc xác định tọa độ không gian độ chính xác cao cùng tốc độ chuyển dịch của các trạm qui chiếu IGS trong ITRF đang mở ra các triển vọng to lớn trong việc xây dựng Hệ tọa độ động học ở các quốc gia dựa trên các sản phẩm của tổ chức IGS và việc ứng dụng công nghệ GPS để xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ đó.

Về nguyên tắc, các quốc gia có thể sử dụng ITRF-yy bất kỳ để xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia. Tổ chức IGS thường xuyên cung cấp các tham số chuyển đổi tọa độ từ ITRF được xác định vào thời kỳ (epoch) này sang ITRF được xác định vào thời kỳ khác tiếp theo. Trung Quốc đã xây dựng Hệ tọa độ Bắc Kinh 1995 dựa trên ITRF-94.

7 tham số chuyển đổi tọa độ giữa các ITRF-yy được cho trong bảng dưới đây [12].

| Từ ITRF | đến ITRF | Thời kỳ | $X_0$<br>(mm)<br>(mm/n) | $Y_0$<br>(mm)<br>(mm/n) | $Z_0$<br>(mm)<br>(mm/n) | $\Delta m$<br>(ppb)<br>(ppb/n) | $\varepsilon_x$<br>(mas)<br>(mas/n) | $\varepsilon_y$<br>(mas)<br>(mas/n) | $\varepsilon_z$<br>(mas)<br>(mas/n) |
|---------|----------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 93      | 92       | 1995,00 | 20,3<br>2,3             | 8<br>0,4                | 3<br>-0,8               | -0,1<br>0,11                   | 1,66<br>0,12                        | 0,68<br>0,15                        | 0,55<br>-0,04                       |
| 94      | 93       | 1996,5  | -21,0<br>-2,7           | -1<br>0                 | 1<br>2,0                | -0,2<br>-0,09                  | -1,27<br>-0,13                      | -0,87<br>-0,20                      | -0,54<br>0,04                       |
| 96      | 94       | 1998,16 | 0<br>0,2                | -1<br>-0,9              | 1<br>0,2                | -0,4<br>-0,07                  | -0,21<br>-0,02                      | -0,01<br>0,01                       | -0,22<br>0,01                       |
| 97      | 96       | 1999,58 | -0,3<br>0,7             | -0,5<br>-0,1            | 14,7<br>1,9             | -1,43<br>-0,043                | -0,159<br>-0,013                    | 0,263<br>0,015                      | 0,060<br>-0,003                     |

#### Các ký hiệu:

mas – milliarc Second = 0,001”

ppb – Part per billion ( $10^{-9}$ ).

n – 1 năm.

Như vậy việc phối hợp giữa các tổ chức IGS và IERS trong việc xây dựng và hoàn thiện khung qui chiếu Quả đất quốc tế (ITRF) dựa trên các kết quả nghiên cứu các hiện tượng địa động học toàn cầu và việc xác định quỹ đạo các vệ tinh và tọa độ cùng tốc độ chuyển dịch của các trạm qui chiếu IGS trong ITRF đang mở ra triển vọng to lớn cho các quốc gia trên thế giới trong việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia dựa trên việc sử dụng công nghệ GPS và sử dụng các sản phẩm dịch vụ của tổ chức IGS.

Tuỳ theo tình hình chính trị – kinh tế của các quốc gia có thể xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia trên cơ sở tham gia trực tiếp vào tổ chức IGS để phát triển mạng lưới IGS hoặc thuận tuý chỉ sử dụng các dịch vụ của tổ chức IGS. Việc tham gia trực tiếp vào tổ chức IGS cho phép nâng cao tiềm lực khoa học – kỹ thuật và công nghệ của Quốc gia trong việc nghiên cứu các vấn đề địa động học toàn cầu; nhận được sự hỗ trợ về phương tiện của tổ chức IGS để đo đạc và xử lý dữ liệu GPS độ chính xác cao và hoàn thiện không ngừng Hệ tọa độ động học quốc gia dựa trên các phát triển của khung qui chiếu Quả đất quốc tế.

Việc đo nối bằng công nghệ GPS giữa các điểm thuộc mạng lưới GPS độ chính xác cao nhất (tạm gọi là mạng lưới GPS cơ sở hạng AA) và các điểm thuộc mạng lưới IGS là công việc cần thiết nhằm truyền bá tọa độ trong ITRF cho các điểm thuộc Hệ tọa độ động học Quốc gia và tạo điều kiện để chuyển tọa độ của các điểm thuộc Hệ tọa độ động học Quốc gia giữa các ITRF.

Với các dịch vụ do Tổ chức IGS cung cấp, bằng công nghệ GPS hoàn toàn có thể nhận được sai số vị trí mặt bằng tương hỗ ở mức 1 - 3 mm và sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa nhỏ hơn 10 mm [36]. Tuy nhiên để đạt được điều nêu trên cần xem xét đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng đo và xử lý dữ liệu GPS để hoàn chỉnh qui trình đo đạc và lựa chọn các phần mềm tính toán thích hợp. Vấn đề này sẽ được xem xét trong chương 2.

#### **§1.5. Xác định các chức năng nhiệm vụ của Hệ tọa độ động học quốc gia.**

Việc sử dụng các sản phẩm dịch vụ của tổ chức IGS hoàn toàn cho phép xác định được các baselines với độ chính xác rất cao dựa trên các kết quả đo

GPS. Trong mục này chúng ta sẽ nghiên cứu các cơ sở để xác định các chức năng nhiệm vụ của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Hệ tọa độ động học là Hệ tọa độ địa tâm 3 chiều. Như đã trình bày ở mục §1.2, khi xây dựng Hệ tọa độ động học dựa trên khung qui chiếu Quả đất quốc tế ITRF2000 và các sản phẩm của tổ chức IGS có thể nhận được độ cao trắc địa H của các điểm GPS với độ chính xác ở mức 5 cm. Trong mục §3.4 chúng ta sẽ chứng minh được rằng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học hoàn toàn đảm bảo việc truyền độ cao trắc địa với độ chính xác ở mức 5 cm ra toàn lãnh thổ quốc gia. Do đó khi đo nối thủy chuẩn Nhà nước vào các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học, chúng ta có thể xây dựng được mô hình Kvazigeoid chính xác ( xem bảng 3.5 chương 3). Tuy nhiên việc đo nối thủy chuẩn Nhà nước vào tất cả các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học là công việc không kinh tế. Ngoài ra, như đã chỉ ra ở bảng 3.5, chương 3, ngay cả khi đo nối thủy chuẩn hạng I vào tất cả các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học chúng ta cũng chỉ nhận được mô hình Kvazigeoid ở mức độ chính xác 8 cm và từ bảng 3.6, chương 3 chúng ta thấy rằng mô hình Kvazigeoid ở mức độ chính xác như vậy không đáp ứng yêu cầu sử dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn hạng I,II. Xu hướng xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao hiện nay được thực hiện theo hai giai đoạn sau:

**Giai đoạn 1.** Xây dựng mô hình Kvazigeoid với độ chính xác đủ đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc - thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

**Giai đoạn 2.** Làm chính xác hoá mô hình Kvazigeoid đến độ chính xác cao hơn 5cm đủ đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn hạng I,II.

Như đã chỉ ra trong [16], trong công tác đo đạc - thành lập bản đồ địa hình độ chính xác cao nhất của độ cao chuẩn của các điểm đo chi tiết nằm trong khoảng 10 - 15cm. Điều này tương ứng với việc thành lập bản đồ địa hình có khoảng cao đều 0,5 m và trong thực tế tương ứng với yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1/500 hoặc 1/1000 (ở vùng đồng bằng). Như vậy, nếu mô hình Kvazigeoid đáp ứng được yêu cầu xác định độ cao chuẩn của các điểm đo chi tiết bằng công nghệ GPS ở mức 10 - 15cm, thì nó sẽ đáp ứng được các yêu cầu xác định độ cao chuẩn của các điểm đo chi tiết bằng công nghệ GPS để thành lập bản đồ địa hình các tỷ lệ nhỏ. Theo đánh giá ở mục §3.3, chương 3 của Báo cáo khoa học này, độ chính xác của mô hình Kvazigeoid đủ đảm bảo cho việc ứng

dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn với độ chính xác ở mức 15 cm được đánh giá bằng 0,128m.

Trong trường hợp xác định dị thường độ cao thuần túy dựa trên dữ liệu trọng lực, theo đánh giá trong [96], với điều kiện mật độ các điểm trọng lực 10km/1điểm, độ chính xác đo trọng lực 0,3 mgl, bậc khai triển điều hoà thế trọng trường  $n=150$ , bán kính vùng tính trọng lực quanh điểm xét  $\psi_0 = 3^\circ$  (vùng gần) thì đối với lãnh thổ Việt Nam sai số trung phương dị thường độ cao được tính dựa trên dữ liệu trọng lực trong vùng gần được đánh giá bằng 0,03m, còn sai số trung phương của thành phần dị thường độ cao do ảnh hưởng của vùng xa được xác định theo các hệ số khai triển điều hoà thế trọng trường được đánh giá bằng 0,687m. Sai số trung phương tổng hợp của dị thường độ cao được xác định bằng phương pháp trọng lực được đánh giá bằng  $m_\Sigma = 0,688m$ . Như vậy chỉ thuần túy sử dụng dữ liệu đo trọng lực để xây dựng mô hình Kvazigeoid, chúng ta không thể xây dựng được mô hình Kvazigeoid đủ đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn với độ chính xác ở mức 15 cm.. Nguyên nhân cơ bản của vấn đề nêu trên là do ảnh hưởng rất lớn của việc tính toán thành phần dị thường độ cao do ảnh hưởng của vùng xa được xác định theo các hệ số khai triển điều hoà thế trọng trường

Tương tự, theo kết quả nghiên cứu trong [102], ở Australia mô hình Ausgeoid93 được xây dựng thuần túy dựa trên dữ liệu trọng lực chỉ đạt độ chính xác trong khoảng 0,3-1m

Để nâng cao độ chính xác của việc xây dựng mô hình Kvazigeoid cần phải giảm tối đa ảnh hưởng của việc tính toán thành phần dị thường độ cao do ảnh hưởng của vùng xa được xác định theo các hệ số khai triển điều hoà thế trọng trường. Để làm điều này trong thực tế không chỉ dựa trên các dữ liệu trọng lực, mà còn dựa trên các dữ liệu phụ khác như độ cao trắc địa độ chính xác cao trong ITRF và các kết quả đo nối thủy chuẩn nhà nước vào các điểm GPS. Đó là cơ sở của việc phát triển mạnh mẽ phương pháp thủy chuẩn vệ tinh - trọng lực trong việc xác định mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao trong giai đoạn hiện nay. Theo tài liệu [2], các máy đo trọng lực đường đạn (Ballistic gravimeter) hiện nay cho phép xác định gia tốc lực trọng trường với độ chính xác 5 microgal. Mạng lưới trọng lực hạng I của liên bang Nga gồm 1200 điểm có sai số trung phương hiệu gia tốc lực trọng trường giữa hai điểm đạt cỡ  $\pm 30-50$  microgal. Nếu từ các điểm này tiến hành đo trọng lực chi tiết thì hoàn toàn đảm bảo xác định dị thường độ cao với sai số trung phương cỡ  $\pm 5-10$ cm theo phương pháp thủy

chuẩn về tinh-trọng lực. Theo kết quả nghiên cứu của TXNHIGAiK, phương pháp nội suy dị thường độ cao với việc sử dụng các kết quả đo trọng lực chi tiết có thể cho phép nhận được dị thường độ cao theo phương pháp thủy chuẩn về tinh-trọng lực với sai số trung phương  $\pm 3-5\text{cm}$  trên khoảng cách 400–500km giữa các điểm thủy chuẩn độ chính xác cao.

Việc xây dựng mô hình Kvazigeoid với sai số trung phương dị thường độ cao nhỏ hơn 5cm đang được nhiều nước tiến hành nhằm mục đích ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc thủy chuẩn Nhà nước thay thế phương pháp đo đạc thủy chuẩn hình học truyền thống [103]. Cơ sở của việc xây dựng mô hình Kvazigeoid với độ chính xác như vậy là làm chính xác hoá mô hình Kvazigeoid hiện có bằng phương pháp Collocation trên cơ sở tăng dày mật độ các điểm trọng lực chi tiết đến mật độ  $2' \times 2'$  và chêm dày các điểm thủy chuẩn Nhà nước - GPS đến mật độ 10km/1điểm. Bằng cách như vậy ở Mỹ đã xây dựng được mô hình GEOID03 với độ chính xác ở mức 2,4cm [103].

Ở Việt Nam hiện đang bắt đầu phát triển công tác đo đạc trọng lực. Do đó trong khuôn khổ đề tài này chỉ xem xét việc phát triển Hệ tọa độ động học quốc gia nhằm kết hợp với các dữ liệu trọng lực, đo đạc thủy chuẩn nhà nước để xây dựng mô hình Kvazigeoid với độ chính xác đủ đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc-thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Đây cũng là **chức năng thứ nhất** của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Đảm bảo cơ sở trắc địa để ứng dụng các phương pháp đo tĩnh bằng các máy thu một tần số, tĩnh nhanh (Fast Static) và đo GPS động (RTK, PPK) trong việc phát triển các điểm khống chế ảnh, khống chế đo vẽ và đo vẽ chi tiết là **chức năng thứ hai** của Hệ tọa độ động học quốc gia. Do các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học quốc gia có độ cao trắc địa với độ chính xác 5cm, nên việc phát triển các mạng lưới GPS theo phương pháp đo tĩnh bằng các máy thu một tần số, việc phát triển các điểm khống chế ảnh, khống chế đo vẽ và đo vẽ chi tiết bằng các các phương pháp đo tĩnh nhanh và đo GPS động từ các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học quốc gia sẽ đảm bảo cho việc nhận được độ cao trắc địa với độ chính xác 5cm tại các điểm cần xác định. Đây là cơ sở để xác định độ cao chuẩn của các điểm đo vẽ chi tiết với sai số trung phương không tồi hơn 141mm và đáp ứng các yêu cầu thành lập bản đồ địa hình ở các tỷ lệ lớn và các tỷ lệ cơ bản. Để thực hiện chức năng này, các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học quốc gia phải phân thành các hạng với mật độ điểm tăng dần, bởi vì, như đã thấy

từ Phụ lục 1, khoảng cách lớn nhất cho phép để áp dụng các phương pháp đo GPS nêu trên không vượt quá 20km.

Hệ tọa độ quốc gia được xây dựng dựa trên mạng lưới thiên văn–trắc địa là cơ sở để thành lập bản đồ địa hình, địa chính của đất nước. Các mạng lưới trắc địa cơ bản Nhà nước và các mạng lưới khống chế đo vẽ hiện nay là cơ sở để sử dụng các phương tiện đo đạc truyền thống phục vụ việc đo vẽ các thể loại bản đồ ở các tỷ lệ khác nhau. Sự trùng của các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học với các điểm thiên văn trắc địa thuộc Hệ tọa độ quốc gia cho phép thiết lập quan hệ đơn trị giữa hai Hệ tọa độ này và làm chính xác hoá Hệ tọa độ quốc gia. Việc thiết lập mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ quốc gia thông qua việc xác định một cách tin cậy các tham số chuyển đổi tọa độ sẽ đảm bảo cho việc chuyển đổi các kết quả đo đạc từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ quốc gia để thành lập bản đồ. Do đó việc thiết lập mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ quốc gia và làm chính xác hoá Hệ tọa độ quốc gia là **chức năng thứ ba** của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Sự đo lập các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học theo chu kỳ 8-10 năm dựa trên cơ sở tính đến các biến thiên của các yếu tố địa động học sẽ góp phần phục vụ việc nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trên lãnh thổ Quốc gia. Điều này góp phần vào việc nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trong phạm vi quốc gia, khu vực và cho phép kiểm soát được ảnh hưởng của các quá trình địa động học đến sự ổn định của cơ sở trắc địa quốc gia. Tuy nhiên cũng cần phân biệt các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ động học với các mạng lưới GPS động được xây dựng để nghiên cứu chuyển dịch mảng, chuyển dịch vỏ trái đất trên các khu vực đứt gãy: Việc lựa chọn vị trí chôn mốc các điểm thuộc các mạng lưới sau cùng này không thể tùy tiện mà phải đảm bảo để các điểm nằm trong đá gốc và bố trí đều ở hai phía của đứt gãy hoặc mảng địa chất cần nghiên cứu, ngoài ra mật độ các điểm được xác định tùy theo kích thước của poligon địa động học chứ không theo mật độ điểm thống nhất nào. Do đó việc kiểm soát và xác định sự ảnh hưởng của các quá trình địa động học đến sự ổn định của cơ sở trắc địa quốc gia là **chức năng thứ tư** của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Trong trường hợp xây dựng các trạm thu tín hiệu vệ tinh thường trực với sự giúp đỡ của Tổ chức IGS chúng ta có thể kiểm soát được sự biến thiên của tầng điện ly trên cơ sở xác định thường xuyên đại lượng  $k.TEC$  (Xem mục 3.1.2 chương 3). Đại lượng này được sử dụng để tính số cải chính vào các trị đo GPS do ảnh hưởng của tầng điện ly đối với các máy thu một tần số, nghiên cứu khi

tượng và phục vụ cho các mục đích quân sự khác như rada v.v. Mặt khác, với sự có mặt của các trạm thu thường trực, chúng ta còn có thể thường xuyên xác định được độ ẩm không khí trên cơ sở xử lý dữ liệu đo GPS liên tục để phục vụ công tác dự báo khí tượng. Thông thường các trạm thu tín hiệu vệ tinh thường trực tạo nên mạng lưới GPS hạng cao nhất (độ chính xác cao nhất) trong Hệ tọa độ động học. Việc kiểm soát sự biến thiên của tầng điện ly là **chức năng thứ năm** của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Một vấn đề khoa học – kỹ thuật khác liên quan đến việc kiểm soát sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường Quả đất trong phạm vi Quốc gia để bảo quản lâu dài cơ sở độ cao Nhà nước độ chính xác cao. Ở Liên bang Nga vấn đề nêu trên được đặt ra như một chức năng của Hệ tọa độ động học (xem mục §1.6 trong chương này). Điều này liên quan với thực tế là ở vùng Cavcaz sự biến thiên gia tốc lực trọng trường đạt đến 0,06mg/1năm. Bây giờ gọi  $\bar{H}$  là độ cao chuẩn bị ảnh hưởng của chuyển dịch đứng do sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường, thêm vào đó

$$\bar{H}' = H' + \delta H,$$

ở đây  $H'$  - độ cao chuẩn chính xác,  $\delta H$  - đại lượng chuyển dịch đứng do sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường.

Chuyển sang sai số trung phương, chúng ta có

$$m_{\bar{H}'}^2 = m_{H'}^2 + \delta^2,$$

ở đây  $\delta^2$  - đại lượng trung phương trung bình của chuyển dịch đứng do sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường.

Theo nguyên lý bỏ qua sai số do nhỏ, chuyển dịch đứng do sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường nhỏ bỏ qua khi

$$\delta \leq \frac{m_{H'}}{3}.$$

Như chứng minh ở mục §3.2, chương 3, sai số trung phương lớn nhất của độ cao chuẩn hạng I bằng 69mm, tức  $m_{H'} = 6,9cm$ . Như vậy chuyển dịch đứng do sự biến thiên của gia tốc lực trọng trường nhỏ bỏ qua khi  $\delta \leq 2,3cm$ . Trong các kết quả nghiên cứu chuyển dịch đứng ở Việt Nam không phát hiện thấy tốc độ chuyển dịch đứng lớn hơn 2cm/1năm. Mặt khác, khi gia tốc lực trọng trường thay đổi đi 0,01 mg thì độ cao

thay đổi đi một đại lượng 3,2cm. Như vậy, khi lưu ý rằng sự biến thiên gia tốc trọng trường chỉ là một trong những nguyên nhân gây ra sự thay đổi độ cao chuẩn của các mốc thủy chuẩn, chúng ta có thể kết luận rằng ở Việt Nam chưa phát hiện được vùng có biến thiên trọng trường lớn. Trong mục \$4.2.2, chương 4 đã chứng minh rằng khi gia tốc trọng trường thay đổi đi 0,01-0,02mgl thì Hệ độ cao quốc gia không hề bị ảnh hưởng gì. Do đó trong khuôn khổ đề tài này không đặt ra chức năng “kiểm soát sự biến thiên gia tốc trọng trường và hiệu chỉnh Hệ độ cao quốc gia” cho Hệ tọa độ động học. Việc nghiên cứu khả năng xuất hiện các biến thiên gia tốc trọng trường lớn ở Việt Nam có thể thực hiện theo chuyên đề riêng dựa trên việc phát triển các trạm đo trọng lực tuyệt đối độ chính xác cao trong khuôn khổ dự án phát triển công tác trọng lực.

Việc thực hiện năm chức năng nêu trên của Hệ tọa độ động học quốc gia xác định **mục tiêu** xây dựng Hệ tọa độ này ở Việt Nam trong giai đoạn hiện nay. Việc mở rộng thêm các chức năng mới của Hệ tọa độ động học trong tương lai phụ thuộc vào sự xuất hiện những bài toán khoa học - kỹ thuật mới dựa trên những tiến bộ mới của sự phát triển công nghệ GPS. Ngoài năm chức năng của Hệ tọa độ động học quốc gia, việc xây dựng và phát triển Hệ tọa độ động học quốc gia đem lại nhiều ích lợi khác. Khi xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng thuộc Hệ tọa độ động học cần nghiên cứu hoàn thiện các quy trình đo đạc GPS trên các khoảng cách lớn; nghiên cứu ứng dụng hoặc phát triển các phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn; phát triển các phương tiện phần mềm để xử lý dữ liệu đo trọng lực và tính toán nội suy dị thường độ cao; phát triển phần mềm tính toán bình sai hỗn hợp mạng lưới GPS và mạng lưới thiên văn trắc địa. Việc thực hiện các công việc nêu trên tất yếu sẽ dẫn đến việc xây dựng Hệ thống thông tin trắc địa quốc gia nhằm lưu giữ và xử lý các dữ liệu thiên văn trắc địa, vệ tinh, trọng lực, thủy chuẩn. Như vậy, việc xây dựng Hệ tọa độ động học sẽ góp phần phát triển tiềm lực khoa học-kỹ thuật và công nghệ của đội ngũ các nhà khoa học trắc địa của đất nước.

Bởi vì các chức năng thứ tư và thứ năm là hệ quả tất yếu của việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia và việc triển khai chúng được thực hiện theo các chuyên đề riêng, nên trong báo cáo đề tài này sẽ không đề cập đến các vấn đề khoa học-kỹ thuật liên quan đến việc thực hiện các chức năng này.

Các vấn đề khoa học-kỹ thuật liên quan đến việc thực hiện chức năng thứ nhất được trình bày trong các chương 3, 4 của báo cáo khoa học này. Việc phân hạng các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học quốc gia và xác định các tiêu

chuẩn kỹ thuật của chúng nhằm thực hiện chức năng thứ hai được trình bày trong chương 5. Việc thực hiện chức năng thứ ba được trình bày trong chương 6.

Các cơ sở khoa học để hoàn thiện các quy trình đo đạc GPS trên các khoảng cách lớn; nghiên cứu ứng dụng hoặc phát triển các phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn được trình bày trong chương 2.

Việc xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia dựa trên Khung qui chiếu Quả đất (ITRF) cho phép kế thừa được các kết quả nghiên cứu của các tổ chức IGS, IERS trong việc nghiên cứu các hiện tượng địa động học bao gồm sự thay đổi của tốc độ quay của Quả đất, sự chuyển dịch của cực Quả đất và sự thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất. Trên cơ sở đó, trong quá trình xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia chúng ta sẽ nhận được đầy đủ các dịch vụ do Tổ chức IGS cung cấp để xây dựng các mạng lưới GPS các hạng độ chính xác cao phục vụ cho việc giải quyết các chức năng nhiệm vụ đã trình bày ở trên. Khi xây dựng các trạm thu tín hiệu vệ tinh thường trực, chúng ta sẽ góp phần vào việc nghiên cứu các hiện tượng địa động học toàn cầu hoặc khu vực.

#### **§1.6. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài.**

Chúng ta sẽ đi qua việc xây dựng Hệ tọa độ động học ở một số nước nhằm nắm bắt được xu thế và học hỏi được các kinh nghiệm của các nước đã đi trước chúng ta trong việc phát triển các tư tưởng xây dựng Hệ tọa độ này.

Để nhanh chóng xác định các tiêu chuẩn kỹ thuật của công nghệ GPS, năm 1988 Tiểu ban kiểm tra trắc địa liên bang (Federal Geodetic Control Subcommittee-FGCS) của Mỹ đã phân loại cấp hạng của các mạng lưới GPS dựa trên độ chính xác của chiều dài cạnh được xác định theo công nghệ GPS [1]. Việc lựa chọn độ chính xác chiều dài cạnh làm tiêu chuẩn phân loại các cấp hạng của các mạng lưới GPS xuất phát từ các thực tế [1]:

- Độ chính xác vị trí tương hỗ của các điểm trắc địa liên quan với độ chính xác đo cạnh;
- Độ chính xác đo cạnh tương đối để xác định dựa trên tính chất “vật lý” của các thiết bị đo dài;
- Mật độ các điểm trong mạng lưới trắc địa phụ thuộc vào chiều dài cạnh giữa các điểm trắc địa.

Như đã thừa nhận trong [1], việc xác định cấp hạng các mạng lưới GPS dựa vào độ chính xác đo cạnh chỉ mang tính định hướng dựa trên cơ sở cấu trúc

các cấp hạng của các mạng lưới trắc địa truyền thống, nhưng nhiều nước trên thế giới đã áp dụng các tiêu chuẩn này của FGCS (ví dụ Trung Quốc). Các tiêu chuẩn của FGCS được trình bày ở bảng dưới đây [1].

| Mạng lưới                                                              | Hạng                  | độ chính xác<br>đo cạnh $m_b$           | độ chính xác<br>tương đối $m_b/b$ |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| Mạng lưới trắc địa<br>động học khu vực<br>và toàn cầu                  | A A                   | $3\text{mm} + 1 \cdot 10^{-8} \cdot b$  | 1/100.000.000                     |
| Hệ qui chiếu trắc<br>địa quốc gia mạng<br>lưới loại 1                  | A                     | $5\text{mm} + 1 \cdot 10^{-8} \cdot b$  | 1/10.000.000                      |
| Hệ qui chiếu trắc<br>địa quốc gia mạng<br>lưới loại 2                  | B                     | $8\text{mm} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot b$  | 1/1.000.000                       |
| Hệ qui chiếu trắc<br>địa quốc gia dựa<br>trên các mạng lưới<br>mặt đất | C                     |                                         |                                   |
|                                                                        | Hạng 1                | $1\text{cm} + 1 \cdot 10^{-5} \cdot b$  | 1/100.000                         |
|                                                                        | Hạng 2, cấp I (2.I)   | $2\text{cm} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot b$  | 1/50.000                          |
|                                                                        | Hạng 2, cấp II (2.II) | $3\text{cm} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot b$  | 1/20.000                          |
|                                                                        | Hạng 3, cấp I (3.I)   | $5\text{cm} + 1 \cdot 10^{-4} \cdot b$  | 1/10.000                          |
|                                                                        | Hạng 3, cấp II (3.II) | $10\text{cm} + 2 \cdot 10^{-4} \cdot b$ | 1/5.000                           |

Theo kết quả nghiên cứu trong [13], sai số vị trí tương hỗ của các điểm trong mạng lưới hạng A tốt hơn 5cm. Dựa trên báo cáo [14], sai số vị trí tương hỗ của các điểm trong mạng lưới hạng B đạt cỡ 1–3cm.

Cũng phải nhận xét rằng các tiêu chuẩn của FGCS được đưa ra vào năm 1988 còn chưa phản ánh được các kết quả nghiên cứu các khung qui chiếu Quả đất quốc tế (ITRF) và chưa tính đến các sản phẩm của tổ chức IGS được phát triển trong những năm tiếp theo.

Cũng cần nhấn mạnh rằng khuynh hướng sử dụng các tiêu chuẩn của FGCS để xây dựng các mạng lưới trắc địa truyền thống không phải là khuynh hướng chính thống để xây dựng Hệ tọa độ động học và không phải là đối tượng nghiên cứu của đề tài này.

Khác với Mỹ, Australia đã xác định 6 cấp của các mạng lưới GPS [15], trong đó có chỉ ra các phương pháp đo GPS, khoảng cách giữa các điểm đối với mỗi cấp của mạng lưới GPS. Tiêu chuẩn phân loại cấp các mạng lưới GPS của Australia được trình bày ở bảng dưới đây.

| Cấp                            | 3 A          | 2 A        | A          | B         | C     | D |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|-----------|-------|---|
| <b><u>Phương pháp đo</u></b>   |              |            |            |           |       |   |
| Tính                           | V            | V          | V          | V         | V     | V |
| Tính nhanh                     |              |            | V          | V         | V     | V |
| Stop and go                    |              |            | V          | V         | V     | V |
| RTK                            |              |            | V          | V         | V     | V |
| Khoảng cách giữa các điểm (km) | 100 – 500    | 10 - 100   | 0,5 – 10   | 0,1 – 5   | >0,05 |   |
| Sai số tương đối cạnh $m_b/b$  | 1: 1.000.000 | 1: 300.000 | 1: 100.000 | 1: 20.000 |       |   |

Tuy nhiên trong Qui phạm của Australia chưa thể hiện ý tưởng xây dựng Hệ tọa độ động học để giải quyết các bài toán trắc địa cơ bản như xây dựng mô hình geoid chính xác, kiểm soát sự biến thiên trọng trường Quả đất. Các dữ liệu trọng lực tách rời với nhiệm vụ xây dựng Hệ tọa độ động học bằng công nghệ GPS. Nhiệm vụ chính của các mạng lưới GPS các cấp hạng của Australia chủ yếu là để đảm bảo việc sử dụng các thiết bị và các phương pháp đo GPS trong công tác đo đạc thành lập bản đồ.

Nhiệm vụ của Hệ tọa độ địa tâm quốc gia của Liên bang Nga bao gồm [16]:

- Đảm bảo cơ sở để phát triển các mạng lưới trắc địa vệ tinh các cấp hạng nhằm sử dụng các dạng thiết bị đo đạc vệ tinh cho mục đích đo đạc – bản đồ;
- Kiểm soát sự thay đổi trọng trường Quả đất nhằm xác định các số cải chính tương ứng vào Hệ độ cao quốc gia;
- Đảm bảo việc xác định dị thường độ cao độ chính xác cao trên toàn lãnh thổ;
- Đảm bảo xây dựng Hệ tọa độ không gian độ chính xác cao tương ứng với tâm vật chất của Quả đất.

Các mạng lưới GPS được phân thành 3 hạng.

### **1. Mạng lưới thiên văn trắc địa cơ sở.**

Nhiệm vụ của mạng lưới này là:

- Thiết lập Hệ toạ độ địa tâm quốc gia;
- Đảm bảo việc loại bỏ các biến dạng khu vực và toàn cầu của mạng lưới thiên văn trắc địa độ chính xác cao và mạng lưới trắc địa vệ tinh hạng I;
- Xác định và kiểm soát ảnh hưởng của các quá trình địa động học đến sự ổn định của cơ sở trắc địa quốc gia.

Tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới này như sau:

- Khoảng cách trung bình giữa các điểm từ 700 – 800 km;
- Vị trí tương hỗ giữa các điểm được xác định với sai số tương đối  $(1-2) \cdot 10^{-8}$ , tức từ 1–2cm;
- Bán kính véc tơ địa tâm của các điểm được xác định với sai số 3–5cm.

Trên tất cả các điểm của mạng lưới thường xuyên đo giá trị lực trọng trường tuyệt đối để kiểm soát sự biến thiên của trọng trường Quả đất và đo thuỷ chuẩn hạng I, II để đảm bảo xác định dị thường độ cao của chúng.

### **2. Mạng lưới thiên văn trắc địa đô chính xác cao.**

Nhiệm vụ của mạng lưới này bao gồm:

- Làm cơ sở để xác định dị thường độ cao độ chính xác cao;
- Làm cơ sở để xây dựng mạng lưới trắc địa vệ tinh hạng I.

Tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới:

- Khoảng cách trung bình giữa các điểm từ 150 – 300km;
- Vị trí tương hỗ của các điểm được xác định với sai số tương đối  $1 \cdot 10^{-7}$ ;
- Một phần các điểm của mạng lưới này phải trùng với các điểm của mạng lưới thiên văn trắc địa cơ sở;
- Các điểm được đo nối với các điểm thuỷ chuẩn quốc gia với sai số trung phương không lớn hơn 5cm.

Các dị thường độ cao trên các điểm của mạng lưới này được sử dụng để tính dị thường độ cao của các điểm cần xác định trên khoảng cách bất kỳ dựa trên phương pháp nội suy với việc sử dụng dữ liệu trọng lực chi tiết.

### 3. Mạng lưới trắc địa vệ tinh hạng I.

Nhiệm vụ của mạng lưới này được xác định để đảm bảo:

- Ứng dụng các thiết bị đo đạc vệ tinh khác nhau trong công tác đo đạc – bản đồ;
  - Xác định các tham số chuyển đổi tọa độ từ Hệ tọa độ địa tâm quốc gia về Hệ tọa độ quốc gia.
- Tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới này như sau:
- Khoảng cách trung bình giữa các điểm từ 30–35km, ở vùng núi từ 40–50km;
  - Sai số vị trí tương hỗ giữa các điểm được xác định với sai số tương đối  $1 \cdot 10^{-6}$ ;
  - Các điểm của mạng lưới này phải trùng với mạng lưới thiên văn–trắc địa mặt đất.

Sự đo lập các mạng lưới trắc địa vệ tinh trong Hệ tọa độ động học của Liên bang Nga được tiến hành theo chu kỳ 8-10 năm.

Sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm kề nhau được đánh giá theo công thức

$$M^2 = m_s^2 + \frac{m_A^2}{\rho^2} \cdot S^2,$$

ở đây  $m_s$  - sai số trung phương của cạnh giữa hai điểm đó,  $m_A$  - sai số trung phương của phương vị cạnh giữa hai điểm đó.

Theo nguyên tắc đồng ảnh hưởng suy ra  $M = \sqrt{2} \cdot m_s$ . Lưu ý (1.5) chúng ta thấy rằng sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm kề nhau được đánh giá theo công thức:

$$M = \sqrt{2} \cdot m_s = \alpha \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-6} \cdot S. \quad (1.6)$$

Từ công thức trên có thể nhận thấy rằng sai số vị trí tương hỗ giữa các điểm của các mạng lưới trắc địa vệ tinh của Liên bang Nga ở mức một vài cm được xác định nhờ sử dụng lịch vệ tinh với các mức độ chính xác là 0,2m; 2m và 20m trong các Hệ WGS-84 và PZ-90. Điều nêu trên cũng dễ hiểu bởi vì quan điểm xây dựng các mạng lưới trắc địa vệ tinh của Liên bang Nga được hình thành trong các năm 1995–1997. Trong khi đó các thành tựu cơ bản trong việc

xây dựng ITRF của Tổ chức IGS với độ chính xác của lịch vệ tinh ở các mức 5cm và 10cm chỉ đạt được sau năm 1997 với các ITRF1997 và ITRF2000. Khi sử dụng lịch vệ tinh của Tổ chức IGS, sai số vị trí tương hỗ giữa các điểm GPS sẽ đạt ở mức một vài mm.

Điểm qua tiêu chuẩn kỹ thuật của các mạng lưới GPS các cấp hạng ở các nước Mỹ, Australia, Liên bang Nga, chúng ta nhận thấy rằng các tiêu chuẩn kỹ thuật ở các nước khác nhau rất khác nhau. Chúng phản ánh quan điểm của từng nước trong việc xây dựng Hệ tọa độ địa tâm quốc gia. Tuy nhiên chúng là các thông tin quý giá để các tác giả đề tài tham khảo trong việc nghiên cứu các tiêu chuẩn kỹ thuật của các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học phù hợp với điều kiện cụ thể của Việt Nam.

### **§1.7. Tình hình nghiên cứu ở trong nước.**

Theo “Báo cáo xây dựng hệ qui chiếu và hệ tọa độ quốc gia. Tổng cục địa chính. 12-1999”, từ năm 1991 đến 1993 Cục đo đạc và Bản đồ nhà nước đã phát triển các mạng lưới GPS cạnh ngắn từ 25-30km bao gồm 117 điểm tại các khu vực Minh Hải, Sông Bé và Tây Nguyên. Quá trình đo đạc được tiến hành nhờ các máy thu một tần số 4000ST và các máy thu hai tần số 4000SST của Hãng TRIMBLE. Thời gian thu tín hiệu 2,5<sup>h</sup> – 3<sup>h</sup>.

Cuối năm 1995 Tổng cục địa chính tiến hành xây dựng mạng lưới cấp “0” bằng công nghệ GPS bao trùm cả nước với 71 điểm GPS bằng các máy thu hai tần số 4000SST và 4000SSE với thời gian thu tín hiệu vệ tinh 7<sup>h</sup>.

Các mạng lưới GPS nêu trên được xử lý tính toán trong Hệ WGS-84 và đóng góp quan trọng trong việc xây dựng Hệ tọa độ quốc gia VN2000.

Cũng cần thiết nhận xét rằng trong giai đoạn xử lý mạng lưới GPS cấp “0” các dịch vụ của Tổ chức IGS còn chưa phát triển và chúng ta chưa đặt ra vấn đề xử lý các mạng lưới GPS độ chính xác cao trong ITRF. Thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên các điểm GPS cấp “0” còn quá ngắn chưa đảm bảo cho việc xử lý tính toán các baseline độ chính xác cao ở mức mm hoặc nhỏ hơn.

Các mạng lưới GPS đã được phát triển ở Việt Nam sẽ được các tác giả của đề tài này kế thừa khi xem xét việc phát triển Hệ tọa độ động học quốc gia.

## **CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU CÁC YẾU CẦU ĐƯỢC ĐẶT RA ĐỐI VỚI VIỆC ĐO ĐẠC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO.**

Trong chương này sẽ nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả đo đạc và xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao, và tiêu chuẩn của các phần mềm hiện đại được sử dụng để xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn. Các kết quả nghiên cứu trong chương này tạo cơ sở khoa học để xây dựng qui trình đo đạc GPS ở ngoại nghiệp và lựa chọn hoặc lập các phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn nhằm đáp ứng các yêu cầu của việc xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ tọa độ động học quốc gia.

### **A. NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KẾT QUẢ ĐO ĐẠC VÀ XỬ LÝ DỮ LIỆU GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO.**

Việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả đo đạc và xử lý dữ liệu GPS độ chính xác cao cho phép hoàn thiện các qui trình đo đạc và lựa chọn các phần mềm thích hợp để xử lý tính toán dữ liệu GPS đảm bảo nhận được các véc tơ không gian (véc tơ Baseline) độ chính xác cao (ở mức cm, thậm trí mm) trên các khoảng cách lớn đến 1000km hoặc hơn nữa.

Trong các bài toán nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất bằng công nghệ GPS và xây dựng các mạng lưới GPS các cấp hạng trong hệ tọa độ động học đặt ra yêu cầu đo đạc GPS đảm bảo độ chính xác cao cả về vị trí mặt bằng lẫn độ cao. Việc đáp ứng yêu cầu nêu trên đòi hỏi phải nhanh chóng tiếp cận các tiến bộ mới trong việc phát triển công nghệ GPS để hoàn thiện các qui trình đo đạc và xử lý dữ liệu GPS.

Khi đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách từ vài chục km cho đến vài ngàn km, các nguồn sai số cơ bản như các hiệu ứng phản xạ của tầng điện ly, tầng đối lưu và sai số quỹ đạo vệ tinh trở nên các nguồn sai số chính ảnh hưởng đến việc nâng cao độ chính xác đo đạc GPS. Đối với trường hợp khoảng cách lớn giữa các điểm GPS, ảnh hưởng của mỗi nguồn sai số cơ bản nêu trên đều lớn hơn ảnh hưởng của các sai số của bản thân máy thu ( sai số đồng hồ máy thu, độ nhiễu của máy thu, sai số do ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền, sai số do độ lệch tâm pha của anten, sai số của trị đo phase,...)[66]. Ngoài ra cần phải tính đến thời gian thu tín hiệu vệ tinh cần thiết nhằm đảm bảo đủ số các trị đo sai phân kép để giải các giá trị nguyên đa trị.

Để đạt được độ chính xác của véc tơ Baseline ở mức một vài mm cần tính đến hàng loạt các yếu tố ảnh hưởng khác như sự lệch tâm pha của anten máy thu so với tâm hình học của anten; sự lệch tâm anten phát của vệ tinh so với trọng tâm của vệ tinh; ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền (multipath)...v...v...

Trong phần này sẽ xem xét các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác đo GPS trên các khoảng cách lớn.

Độ chính xác cao của véc tơ Baseline đạt được nhờ phương pháp đo GPS tương đối và dựa trên cơ sở xử lý phase của sóng mang trong bank tần số L được truyền từ các vệ tinh GPS.

Sự không ổn định của tần số phát của tín hiệu vệ tinh trên đường truyền sóng là yếu tố cần tính đến trong phương trình trị đo phase do ảnh hưởng của hiệu ứng có chọn lọc SA (Selective Availability) [1, 3]. Tuy nhiên, kể từ ngày 1/5/2000 chính phủ Mỹ đã tuyên bố chấm dứt việc áp dụng hiệu ứng này trong công nghệ GPS. Điều này cho phép không đánh giá các tham số đặc trưng cho sự không ổn định của tần số phát của tín hiệu vệ tinh trong phương trình trị đo phase.

Gọi  $t_{r,j}$  - thời điểm chính xác thu tín hiệu vệ tinh  $i$  tại máy thu  $j$  theo thang thời gian GPS (GPS Time GPST),  $t_j$  - thời điểm thu tín hiệu vệ tinh  $i$  tại máy thu  $j$  theo chỉ số đồng hồ của máy thu. Do sai số  $dT_j$  của đồng hồ máy thu  $j$  so với GPST nên khoảng cách địa diện giữa vệ tinh  $i$  và máy thu  $j$  vào thời điểm thu tín hiệu vệ tinh xác định được biểu diễn theo công thức [1, p. 250]:

$$\rho(i, j, t_{r,j}) = \rho(i, j, t_j) + \dot{\rho}(i, j, t_j) \cdot dT_j, \quad (2.1)$$

ở đây  $\dot{\rho}(i, j, t_j)$  - tốc độ thay đổi khoảng cách do sai số đồng hồ máy thu.

Theo [1, p. 259], nếu sai số đồng hồ máy thu  $dT_j$  không vượt quá 0,1 micro sec thì thành phần thứ hai bên phải của biểu thức (2.1) nhỏ bỏ qua. Thực tế sai số đồng hồ máy thu được giữ ở mức nêu trên. Do đó việc không tính đến thành phần  $\dot{\rho}(i, j, t_j)$  trong phương trình trị đo phase làm đơn giản hoá quá trình xử lý phase trong công nghệ GPS.

Khi lưu ý các vấn đề nêu trên, phương trình trị đo phase đối với vệ tinh  $i$  và máy thu  $j$  vào thời điểm thu tín hiệu vệ tinh  $t$  có dạng sau[1,67]:

$$\begin{aligned} \varphi(i, j, t) = & \frac{f}{c} \cdot \rho(i, j, t) + f \cdot \left( dt_i - dT_j \right) + N_{ij} + I(i, j, t) + \\ & T(i, j, t) + m_{(i, j)} + f \cdot (\delta(i, t) - \delta(j, t)) + \left( \varphi_i(t_0) - \varphi_j(t_0) \right) + \varepsilon_{ij} \end{aligned} \quad (2.2)$$

ở đây  $f$  - tần số của sóng mang;  $c$  - tốc độ ánh sáng;  $dt_i$ -sai số đồng hồ vệ tinh vào thời điểm phát tín hiệu từ vệ tinh so với thang GPST;  $N_{ij}$  - trị nguyên đa trị;  $I(i, j, t)$ -sai số do hiệu ứng chiết quang của tầng điện ly;  $T(i, j, t)$ -sai số do hiệu ứng chiết quang của tầng đối lưu;  $m_{(i, j)}$ -sai số do ảnh hưởng của hiệu ứng đa đường truyền (multipath);  $\delta(i, t)$  và  $\delta(j, t)$ -các sai số (trong đơn vị thời gian) do sự chậm phase trong các thiết bị phân cứng của vệ tinh và máy thu;  $\varphi_i(t_0)$  và  $\varphi_j(t_0)$ -các đại lượng cố định của các phase ban đầu của sóng mang từ vệ tinh  $i$  và bản copy của nó trong máy thu  $j$ ;  $\varepsilon_{ij}$  - sai số ngẫu nhiên của trị đo phase.

Trị đo phase trong (2.2) có đơn vị là chu kỳ (cycle). Quá trình xử lý phase được thực hiện theo kỹ thuật sai phân dựa trên cơ sở xác định các hiệu của các phương trình phase dạng (2.2) tương ứng với các cặp máy thu-vệ tinh.

Nếu một máy thu thu được đồng thời tín hiệu từ 2 vệ tinh vào thời điểm  $t$ , thì lập được 2 phương trình đo phase dạng (2.2). Hiệu hai phương trình này tạo nên một phương trình hiệu phase đơn mà trong đó sai số đồng hồ máy thu  $dT$ , sai số  $\delta(j, t)$  do sự chậm phase trong máy thu và trị phase ban đầu  $\varphi_j(t_0)$  của bản copy sóng mang trong máy thu đều bị triệt tiêu.

Nếu từ hai máy thu đồng thời thu tín hiệu từ 2 vệ tinh thì sẽ lập được 2 phương trình hiệu phase đơn. Hiệu của 2 phương trình này cho một phương trình hiệu phase kép trong đó các sai số của đồng hồ các vệ tinh, các máy thu, các trị phase ban đầu của các sóng mang từ các vệ tinh và các trị phase ban đầu của các bản copy của các sóng mang trong các thiết bị phân cứng của các vệ tinh và các máy thu đều bị triệt tiêu. Trong phương trình hiệu phase kép, các hiệu của các sai số do sự phản xạ của tầng điện ly, tầng đối lưu và ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đều cực tiểu hoá. Do đó các phương trình hiệu phase kép được sử dụng để xác định các trị nguyên đa trị.

Nếu từ 2 máy thu đồng thời thu tín hiệu từ hai vệ tinh vào 2 thời điểm (epoch) liên tục, thì sẽ lập được 2 phương trình hiệu phase kép. Hiệu của 2 phương trình này tạo thành một phương trình hiệu phase bội mà trong đó chỉ còn lại các hiệu của các sai số do phản xạ của tầng điện ly, tầng đối lưu và ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đến các phase của các sóng mang. Vì lý

do này phương trình hiệu phase bội thường được áp dụng để kiểm tra sự trượt chu kỳ (cycle Slip) trong các dữ liệu đo phases.

Việc phân tích kỹ thuật xử lý phase dựa trên kỹ thuật sai phân cho thấy một thực tế quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác đo đạc GPS liên quan đến việc áp dụng các kỹ thuật và mô hình toán học để làm giảm hoặc loại bỏ các sai số do phản xạ của tầng điện ly, tầng đối lưu và do ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền.

### **\$2.1. Các ứng dụng các máy thu hai tần số trong công nghệ GPS.**

Các vệ tinh GPS đều phát các tín hiệu là các sóng mang tần số  $L_1$  (tần số  $f_1 = 1575,42$  MHz) và sóng mang tần số  $L_2$  (tần số  $f_2 = 1227,60$  MHz). Máy thu hai tần số có các kênh riêng để thu các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$ .

Việc sử dụng các máy thu hai tần số có các lợi ích rất cơ bản để đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn:

- loại bỏ được sai số trong phase đo do phản xạ của tầng điện ly;
- đơn giản trong việc tính các trị nguyên đa trị, phục hồi tín hiệu bị mất và kiểm tra, sửa chữa sự trượt chu kỳ của các sóng mang.

Các lợi ích nêu trên sẽ được xem xét trong các phần tiếp theo.

Sai số trong phase đo do ảnh hưởng của tầng điện ly là một trong những nguồn sai số cơ bản nhất trong công nghệ GPS. Từ kết quả nghiên cứu kiểm soát tầng điện ly của các lĩnh vực vật lý khí quyển đã phát hiện được rằng các lớp của tầng điện ly, đặc biệt ở các vùng cực của Quả đất, thường bị nhiễu bất thường do sự hoạt động mạnh của mặt trời và địa từ [19]. Do sự thay đổi vật lý của các tham số trạng thái của tầng điện ly, ở các vĩ độ trung bình trong khoảng 1 vài giây sự biến thiên của số cải chính vào giả cự ly do ảnh hưởng của tầng điện ly không vượt quá 1 cm, nhưng ở các vùng cực Quả đất sự biến thiên của số cải chính này có thể đạt tới 20 cm [19]. Khi không tính đến số cải chính do ảnh hưởng của tầng điện ly, phạm vi sử dụng máy thu 1 tần số không vượt quá 3 km ở các vĩ độ trung bình [19].

Số cải chính do ảnh hưởng của tầng điện ly được tính theo các tham số mô hình trong Thông báo vệ tinh (Satellite Message) không tính đến sự biến thiên bất thường của tầng điện ly trong khoảng thời gian dài. Do đó trong việc đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn với khoảng thời gian thu tín hiệu vệ

tính dài (thậm trí đến hàng chục ngày liền) bắt buộc phải áp dụng các máy thu hai tần số để loại bỏ ảnh hưởng của tầng điện ly.

**§2.1.1 Sử dụng sóng mang tần số  $L_3$  để loại bỏ ảnh hưởng của phản xạ tầng điện ly.**

Sóng mang tần số  $L_3$  được tạo ra từ các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$  thu được tại máy thu. Nguyên tắc tạo ra sóng mang  $L_3$  được xây dựng dựa trên cơ sở loại bỏ ảnh hưởng của phản xạ tầng điện ly đến phase của sóng mang này. Sự chậm thời gian của sóng mang tần số  $L$  do sự có mặt của các điện tử tự do trong tầng điện ly được xác định bởi công thức [3, p. 82]:

$$\delta\tau_{\text{ion}} = k \cdot \text{TEC} / f^2,$$

ở đây  $k$  - hệ số thực nghiệm (đối với sóng mang tần số  $L_1$ , hệ số  $k = -1,35 \cdot 10^{-7}$ ); TEC (TOTAL ELECTRON CONTENT) - mật độ điện tử tự do trên  $1\text{m}^2$  theo đường truyền tín hiệu vệ tinh.

Do ảnh hưởng của khúc xạ tầng điện ly, nên khoảng thời gian  $\tau$  truyền tín hiệu từ vệ tinh đến máy thu không bị ảnh hưởng của tầng điện ly được xác định như sau.

Đối với sóng mang  $L_1$ .

$$\tau = \varphi_1 / f_1 - k \cdot \text{TEC} / f_1^2, \quad (2.3)$$

Đối với sóng mang  $L_2$ .

$$\tau = \varphi_2 / f_2 - k \cdot \text{TEC} / f_2^2, \quad (2.4)$$

ở đây  $\varphi_1, \varphi_2$  - các phases của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$  bị nhiễu bởi ảnh hưởng của tầng điện ly.

Gọi  $\varphi_{\text{ion}}(L) = \delta\tau_{\text{ion}} \cdot f$  - giá trị nhiễu của phase sóng mang tần số  $L$ .

Khi đó

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ion}}(L_1) &= k \cdot \text{TEC} / f_1 \\ \varphi_{\text{ion}}(L_2) &= k \cdot \text{TEC} / f_2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Từ đây:

$$\varphi_{\text{ion}}(L_1) = (f_2 / f_1) \cdot \varphi_{\text{ion}}(L_2). \quad (2.6)$$

Trên cơ sở (2.3) và (2.4) chúng ta có:

$$\varphi_1 = \tau \cdot f_1 + \varphi_{\text{ion}}(L_1)$$

$$\varphi_2 = \tau \cdot f_2 + \varphi_{\text{ion}}(L_2)$$

Do đó:

$$\varphi_1 \cdot f_1 - \varphi_2 \cdot f_2 = (f_1^2 - f_2^2) \cdot \tau + (f_1 \cdot \varphi_{\text{ion}}(L_1) - f_2 \cdot \varphi_{\text{ion}}(L_2))$$

và lưu ý (2.6) suy ra công thức tính khoảng thời gian  $\tau$  truyền tín hiệu vệ tinh không bị ảnh hưởng của tầng điện ly:

$$\tau = \frac{\varphi_1 \cdot f_1 - \varphi_2 \cdot f_2}{f_1^2 - f_2^2} = \frac{1}{f_1} \cdot \frac{\varphi_1 - R \cdot \varphi_2}{1 - R^2},$$

ở đây hệ số  $R = f_2 / f_1 = 0,779$ .

Từ đây có thể xác định công thức tính  $\varphi_3$  của sóng mang tần số  $L_3$  không bị ảnh hưởng của tầng điện ly:

$$\varphi_3 = f_1 \cdot \tau = \frac{\varphi_1 - R \cdot \varphi_2}{1 - R^2} = \varphi_1 - 1,984 \times (\varphi_2 - 0,779 \cdot \varphi_1). \quad (2.7)$$

Để viết phương trình phase  $L_3$  chúng ta sẽ sử dụng phương trình phase dạng (2.2) đối với các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$  và biểu diễn phương trình (2.7) dưới dạng:

$$\varphi_3(i, j, t) = f_1 \cdot \frac{f_1 \cdot \varphi_1 - f_2 \cdot \varphi_2}{f_1^2 - f_2^2}. \quad (2.8)$$

Khi thu tín hiệu vệ tinh từ vệ tinh  $i$  tại máy thu  $j$  vào thời điểm  $t$ , trong các phương trình phases dạng (2.2) đối với các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$  tồn tại các thành phần bằng nhau như  $\rho_{(i, j, t)}$ ,  $dt_i$ ,  $dT_j$ ,  $\delta_{(i, t)}$  và  $\delta_{(j, t)}$ . Dựa trên (2.8) có thể thấy rằng các thành phần này sẽ giữ nguyên dạng trong phương trình phase  $\varphi_3(i, j, t)$  giống như trong (2.2).

Các sai số  $I_{L_1}(i, j, t)$  và  $I_{L_2}(i, j, t)$  do ảnh hưởng của tầng điện ly có dạng (2.5). Do đó khi thay chúng vào (2.8) có thể thấy rằng trong phương trình phase  $\varphi_3(i, j, t)$ , sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly bị triệt tiêu.

Đối với các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$ , các sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu là như nhau, tức  $T_{L_1}(i, j, t) = T_{L_2}(i, j, t) = T(i, j, t)$ . Lưu ý đến điều này, thành phần đặc trưng cho sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu trong phương trình phase  $\varphi_3(i, j, t)$  có dạng:

$$T_3(i, j, t) = \alpha_1 \cdot T(i, j, t),$$

ở đây  $\alpha_1 = f_1 / (f_1 + f_2) = 0,562$ .

Khi tính đến các vấn đề nêu trên, phương trình trị đo phase  $\varphi_3(i, j, t)$  có dạng:

$$\begin{aligned} \varphi_3(i, j, t) = & \frac{f_1}{C} \cdot \rho(i, j, t) + f_1 \cdot (dt_i - dT_j) + \alpha_1 \cdot T(i, j, t) + \alpha_2 \cdot N_3(i, j) + \\ & + \alpha_2 \cdot m_3(i, j) + f_1 \cdot (\delta(i, t) - \delta(j, t)) + \alpha_2 \cdot (\varphi_i^{L_3}(t_0) - \varphi_j^{L_3}(t_0)) + \varepsilon_3(i, j) \end{aligned} \quad (2.9)$$

ở đây

$$N_3(i, j) = f_1 \cdot N_1(i, j) - f_2 \cdot N_2(i, j);$$

$N_1(i, j)$  và  $N_2(i, j)$  - các trị nguyên đa trị đối với các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$ ; hệ số  $\alpha_2 = f_1 / (f_1^2 - f_2^2) = 0,0016$ ;  $m_3(i, j) = f_1 \cdot m_1(i, j) - f_2 \cdot m_2(i, j)$ ;  $m_1(i, j)$  và  $m_2(i, j)$  - các sai số do ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đến các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$ ;

$$\varphi_i^{L_3}(t_0) = f_1 \cdot \varphi_i^{L_1}(t_0) - f_2 \cdot \varphi_i^{L_2}(t_0); \quad \varphi_j^{L_3}(t_0) = f_1 \cdot \varphi_j^{L_1}(t_0) - f_2 \cdot \varphi_j^{L_2}(t_0);$$

$\varepsilon_3(i, j)$  - sai số ngẫu nhiên của trị đo phase  $\varphi_3(i, j, t)$ .

Như vậy, việc sử dụng sóng mang tần số  $L_3$  cho phép loại bỏ sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly. Đây là một trong những ưu điểm nổi bật của việc sử dụng máy thu hai tần số trong đo đạc GPS độ chính xác cao trên khoảng cách lớn.

Khi áp dụng kỹ thuật sai phân kép đối với các trị đo phase của các sóng mang  $L_3$  dựa trên phương trình (2.9) có thể thấy rằng trong phương trình sai phân bậc hai sẽ không có mặt các sai số của đồng hồ vệ tinh và máy thu; các phases ban đầu của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$  và các sai số do sự chậm phases của các sóng mang  $L_1, L_2$  trong các thiết bị phân cứng của các máy thu và vệ tinh. Do đó, khi sử dụng các máy thu 2 tần số các nguồn sai số cơ bản còn lại là sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu và sai số do hiện tượng đa đường truyền.

### **§2.1.2. Sử dụng các sóng dài rộng và dải hẹp để xác định các trị nguyên đa trị và kiểm soát sự thay đổi của tầng điện ly.**

Trên cơ sở các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$  có thể tạo được các sóng dải hẹp (Narrow length wave) và sóng dải rộng (wide length wave).

Sóng dải hẹp là sóng có tần số  $f_N = f_1 + f_2$ , phase  $\varphi_N = \varphi_1 + \varphi_2$  và bước sóng  $\lambda_N = 10,7\text{cm}$ .

Sóng dải rộng là sóng có  $f_w = f_1 - f_2$ , phase  $\varphi_w = \varphi_1 - \varphi_2$  và bước sóng  $\lambda_w = 86,2\text{cm}$ .

Nguyên lý sử dụng các sóng dải rộng và dải hẹp để xác định các trị nguyên đa trị  $N_1, N_2$  đối với các sóng mang  $L_1, L_2$  và kiểm soát sự biến thiên của tầng điện ly được trình bày trong nhiều tài liệu, ví dụ [18].

Trên cơ sở công thức (2.2), chúng ta viết lại các phương trình trị đo phase đối với các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$ :

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \frac{f_1}{c} \cdot \rho_{(i,j,t)} + T_{(i,j,t)} + m_{(i,j)} + f_1 \cdot \delta + N_1 + \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_1} \\ \varphi_2 &= \frac{f_2}{c} \cdot \rho_{(i,j,t)} + T_{(i,j,t)} + m_{(i,j)} + f_2 \cdot \delta + N_2 + \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_2}.\end{aligned}\quad (2.10)$$

ở đây  $T_{(i,j,t)}, m_{(i,j)}$  - các sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu và ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đến cả hai phase của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$ ;  $\delta$  - sai số tổng hợp bao gồm các sai số đồng hồ vệ tinh, đồng hồ máy thu và sự chậm phase trong các thiết bị phần cứng của máy thu và vệ tinh.

Do đối với sóng dải rộng:  $\varphi_w = \varphi_1 - \varphi_2$ ;  $f_w = f_1 - f_2$ ;  $N_w = N_1 - N_2$ ;

$$\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} = \frac{f_1}{c} - \frac{f_2}{c} = \frac{f_w}{c},$$

nên từ (2.10) suy ra phương trình đối với phase của sóng dải rộng:

$$\varphi_w = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{f_w}{c} \cdot \rho_{(i,j,t)} + f_w \cdot \delta + N_w + k \cdot \text{TEC} \cdot \left( \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right). \quad (2.11)$$

Chúng ta nhận thấy rằng trị đo phase  $\varphi_w$  (III.11) không bị ảnh hưởng bởi các sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu và hiện tượng đa đường truyền.

Từ phương trình thứ nhất của hệ (2.10) và công thức (2.11) suy ra:

$$\frac{1}{f_1} \cdot \varphi_1 - \frac{1}{f_w} \cdot \varphi_w = \frac{T_{(i,j,t)} + m_{(i,j)}}{f_1} + \frac{N_1}{f_1} - \frac{N_w}{f_w} + \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_1^2} - \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_w} \cdot \left( \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right),$$

hay

$$N_1 = \varphi_1 - (\varphi_w - N_w) \cdot \frac{f_1}{f_w} - T_{(i,j,t)} - m_{(i,j)} - \left[ \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_1} - \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_w} \cdot \left( 1 - \frac{f_1}{f_2} \right) \right]. \quad (2.12)$$

Mặt khác

$$\begin{aligned} \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_1} - \frac{k \cdot \text{TEC}}{f_w} \cdot \left( \frac{f_2 - f_1}{f_2} \right) &= k \cdot \text{TEC} \cdot [f_w \cdot f_2 + f_1 \cdot (f_1 - f_2)] / f_1 \cdot f_2 \cdot f_w = \\ &= k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_w \cdot f_2 + f_1 \cdot f_w}{f_1 \cdot f_2 \cdot f_w} = k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_1 + f_2}{f_1 \cdot f_2} = k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_N}{f_1 \cdot f_2}. \end{aligned}$$

Do đó chúng ta viết lại công thức (2.12) dưới dạng mới:

$$N_1 = \varphi_1 - (\varphi_w - N_w) \cdot \frac{f_1}{f_w} - T_{(i,j,d)} - m_{(i,j)} - k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_N}{f_1 \cdot f_2}. \quad (2.13)$$

Tương tự

$$N_2 = \varphi_2 - (\varphi_w - N_w) \cdot \frac{f_2}{f_w} - T_{(i,j,d)} - m_{(i,j)} - k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_N}{f_1 \cdot f_2}. \quad (2.14)$$

Phương trình đối với phase sóng dải hẹp có dạng:

$$\varphi_N = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{f_N}{c} \cdot \rho_{(i,j,d)} + 2 \cdot T_{(i,j,d)} + 2 \cdot m_{(i,j)} + N_N + f_N \cdot \delta + k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_N}{f_1 \cdot f_2}. \quad (2.15)$$

Từ (2.11) và (2.15) suy ra:

$$\frac{\varphi_w}{f_w} - \frac{\varphi_N}{f_N} = \frac{N_w}{f_w} - \frac{N_N}{f_N} - \frac{2 \cdot T_{(i,j,d)}}{f_N} - \frac{2 \cdot m_{(i,j)}}{f_N} - \frac{2 \cdot k \cdot \text{TEC}}{f_1 \cdot f_2}$$

Trong hiệu trên hoàn toàn loại bỏ sai số tổng hợp  $\delta$ . Từ đây suy ra:

$$-T_{(i,j,d)} - m_{(i,j)} - k \cdot \text{TEC} \cdot \frac{f_N}{f_1 \cdot f_2} = \frac{1}{2} \cdot \left[ (\varphi_w - N_w) \cdot \frac{f_N}{f_w} - (\varphi_N - N_N) \right]. \quad (2.16)$$

Thay (2.16) vào (2.13) và (2.14) suy ra:

$$N_1 = \left( \varphi_1 - \frac{1}{2} \varphi_N - \frac{1}{2} \varphi_w \right) + \frac{N_w + N_N}{2}, \quad (2.17)$$

$$N_2 = \left( \varphi_2 - \frac{1}{2} \varphi_N - \frac{1}{2} \varphi_w \right) + \frac{N_w + N_N}{2}. \quad (2.18)$$

Từ các công thức (2.10), (2.11) và (2.15) có thể nhận thấy rằng trong các hiệu  $\left( \varphi_1 - \frac{1}{2} \varphi_N - \frac{1}{2} \varphi_w \right)$  và  $\left( \varphi_2 - \frac{1}{2} \varphi_N - \frac{1}{2} \varphi_w \right)$  hoàn toàn bị loại bỏ tất cả các nguồn sai số trong công nghệ GPS. Do đó việc tính các trị nguyên đa trị  $N_1$  và  $N_2$  theo các phases của các sóng dải rộng và sóng dải hẹp dựa trên các công thức (2.17) và (2.18) cho các kết quả tin cậy độc lập với các nguồn sai số trong các trị đo GPS.

Các trị nguyên đa trị  $N_W$  và  $N_N$  của các sóng dải rộng và dải hẹp có thể được tính công thức [19]:

$$N_W = f_W \cdot (T - t_r) + \varphi_W,$$

$$N_N = \frac{f_N}{f_W} \cdot N_W,$$

ở đây

$$T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) + \frac{1}{2} \cdot \frac{f_W}{f_N} \cdot (T_1 - T_2),$$

còn  $T_1$  và  $T_2$  - các thời điểm phát sóng mang  $L_1$  và  $L_2$  từ vệ tinh;  $t_r$  - thời điểm nhận được sóng dải rộng tại máy thu.

Để kiểm soát sự biến thiên của tầng điện ly cần tính đại lượng  $k \cdot TEC$ . Để làm điều này có thể sử dụng tổ hợp của phase các sóng mang  $L_1$ ,  $L_2$  và các giả cự ly được xác định theo mã [18, p. 216]. Các giả cự ly  $R_1(i, j, t)$ ,  $R_2(i, j, t)$  có đơn vị chu kỳ (Cycle) được xác định theo các mã của các sóng mang  $L_1$ ,  $L_2$  và có dạng:

$$R_1 = \frac{f_1}{c} \cdot \rho_{(i,j,t)} + T_{(i,j,t)} + M_{(i,j)} + f_1 \cdot \delta - \frac{k \cdot TEC}{f_1},$$

$$R_2 = \frac{f_2}{c} \cdot \rho_{(i,j,t)} + T_{(i,j,t)} + M_{(i,j)} + f_2 \cdot \delta - \frac{k \cdot TEC}{f_2},$$

ở đây  $M(i,j)$  - sai số do ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đến các giả cự ly  $R_1$ ,  $R_2$ .

Kết hợp hai phương trình trên với các phương trình trị đo phase trong (2.10), chúng ta có:

$$\varphi_1 - R_1 = \frac{2 \cdot k \cdot TEC}{f_1} + N_1 + m_{(i,j)} - M_{(i,j)},$$

$$\varphi_2 - R_2 = \frac{2 \cdot k \cdot TEC}{f_2} + N_2 + m_{(i,j)} - M_{(i,j)}.$$

Từ đây:

$$\varphi_1 - \varphi_2 - R_1 + R_2 = \varphi_W - R_1 + R_2 = 2k \cdot TEC \cdot \left( \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right) + N_W.$$

Chúng ta thấy trong biểu thức  $(\varphi_W - R_1 + R_2)$  loại trừ tất cả các nguồn sai số trong các trị đo GPS, trừ sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly.

Cuối cùng, chúng ta có công thức tính đại lượng  $k \cdot TEC$ :

$$k \cdot TEC = \frac{-f_1 \cdot f_2}{2 \cdot f_w} \cdot (\varphi_w - R_1 + R_2 - N_w).$$

Đại lượng này được sử dụng để nghiên cứu sự biến thiên của tầng điện ly và xác định các tham số của mô hình tầng điện ly phục vụ cho bài toán đạo hàng và định vị điểm bằng công nghệ GPS.

Đến đây chúng ta nhận thấy một thực tế rằng nếu ở Việt Nam có các trạm thường trực thu tín hiệu vệ tinh liên tục (Permanent) và có liên kết với mạng lưới IGS, thì khi xác định các giả cự ly theo các mã P kết hợp với các trị đo phase trên các sóng mang tần số L1 và L2 chúng ta hoàn toàn xác định được tham số k.TEC trong từng thời điểm thu tín hiệu vệ tinh. Các giá trị k.TEC nhận được cho phép sử dụng để hiệu chỉnh các trị đo phase do ảnh hưởng của tầng điện ly đối với các máy thu một tần số và xác định mật độ điện tử tự do phục vụ cho các mục đích khí tượng và quân sự. Do đó việc tham gia tổ chức IGS sẽ nâng cao ý nghĩa của việc xây dựng Hệ tọa độ động học trong việc phục vụ các mục đích đa ngành. Các kết quả nghiên cứu vấn đề nêu trên được phản ánh trong nhiều công trình được công bố ở nước ngoài, ví dụ [100,101]. Thiết bị thu tín hiệu vệ tinh GPS trên trạm thường trực của Hãng TRIMBLE có ký hiệu TRM 23903.00 (Permanent L1/L2. Model 23903.00).

### **\$2.1.3. Các vấn đề quan trọng trong quá trình xử lý các dữ liệu đo phase.**

Vấn đề phức tạp nhất trong quá trình xử lý các dữ liệu đo phase là việc giải đa trị nhằm xác định các trị nguyên đa trị. Bởi vì các giá trị này là các số nguyên, nên lời giải cho kết quả cuối cùng (fixed solution) tốt nhất khi nhận được các trị nguyên đa trị là các số nguyên hoặc gần nhất với các số nguyên.

Để giải quyết vấn đề này, quá trình xử lý thường chia thành ba giai đoạn. Trước tiên các tham số đa trị được xác định cùng với các tham số tọa độ và các tham số khác trong mô hình. Kết quả tọa độ ở giai đoạn này được gọi là nghiệm với tham số đa trị thực (float solution) bởi vì các tham số đa trị vẫn là các số thực. Do các tham số đa trị là những số nguyên nên giai đoạn hai sẽ dựa vào các tiêu chuẩn thống kê của tính gần nguyên và ma trận hiệp phương sai của chúng để quyết định qui các tham số đa trị thực thành những số nguyên tương ứng. Các số nguyên này sẽ được hiệu chỉnh vào trị đo pha để chuyển thành khoảng cách thực sự và giai đoạn ba sẽ chỉ xác định các tham số tọa độ để cho kết quả cuối cùng (fixed solution).

Trong thực tế không phải lúc nào cũng thực hiện thành công giai đoạn hai. Điều này thường xảy ra khi khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh không đủ lớn trên các baselines dài, khi các trị đo phase bị nhiễu nhiễu hoặc thường xuyên bị trượt chu kỳ. Khi đó buộc phải chấp nhận lời giải gần đúng với tham số đa trị thực(float solution) .

Việc xác định trọng số của trị đo phase cũng là vấn đề quan trọng. Mô hình trọng số đơn giản nhất của trị đo pha là coi nó bằng một hằng số. Khi đó ma trận trọng số của các trị đo sẽ là ma trận đơn vị. Tuy nhiên nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng chất lượng của trị đo phase nói chung phụ thuộc vào phương truyền sóng. đặc biệt khi góc nghiêng của tín hiệu vệ tinh ( góc E ) thấp. Khi đó các phần dư từ việc mô hình hoá các nguồn sai số như sai số do môi trường truyền sóng có xu hướng tăng lên, đặc biệt ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền (multipath) sẽ tăng lên đáng kể. Vì vậy những mô hình trọng số tinh tế hơn của trị đo phase thường là một hàm số với đối số là góc E [46]. Sai số trung phương trị đo phase đối với sóng mang  $L_1$  được biểu diễn dưới dạng sau:

$$m_{\varphi_1} = A_1 + A_2 \cdot f(E)$$

ở đây  $A_1$  và  $A_2$ — các hệ số được xác định phụ thuộc vào các loại máy thu tín hiệu vệ tinh; E - góc ngưỡng vệ tinh.

Hàm  $f(E)$  có nhiều dạng:

Theo [ 46]  $- f(E) = E^{\left(\frac{E}{E_0}\right)}$ , ở đây  $E_0$  – góc ngưỡng tiêu chuẩn được sử dụng để xác định các hệ số  $A_1, A_2$ ;

Theo[47]  $- f(E) = 1/\sin(E)$  . Phần mềm Bernese sử dụng công thức này để tính trọng số của trị đo phase đối với sóng mang  $L_1$  [ 64 ].

Theo [58]:

$$f(E) = \exp(- A_3 \cdot E),$$

ở đây  $A_3$  - có hệ số.

Dạng hoàn thiện hơn của đại lượng  $f(E)$  như sau [ 59, 60 ]:

$$f(E) = \exp(- A_3 \cdot \xi(E)),$$

$$\text{ở đây } \xi(E) = -\sin E + \sqrt{\sin^2 E + 2 \cdot \alpha + \alpha^2}; \quad \alpha = \frac{h_{trop}}{R};$$

$h_{trop}$  - độ cao của tầng đối lưu kể từ bề mặt Quả đất; R - bán kính Quả đất.

Trong [58] đã chứng minh công thức phương sai trị đo phase ở dạng dưới đây:

$$m_{\varphi 1} = F_{\sigma} \cdot (n_0 - 1) \cdot \left[ \sqrt{\frac{\pi \cdot R \cdot h_{trop}}{2}} - R \cdot tgE \right], \quad (2.18a)$$

ở đây  $F_{\sigma}$  - hệ số có giá trị nằm trong khoảng từ 0,04 ÷ 0,08; chỉ số chiết quang trên bề mặt Quả đất

$$n_0 = 1 + \frac{7,76 \cdot 10^{-5} \cdot P_0}{T} + \frac{0,373 \cdot P_{w_0}}{T^2};$$

$P_0$  - áp suất tại điểm đo;  $P_{w_0}$  - áp suất thành phần của hơi nước tại điểm đo;

$T$  - nhiệt độ tuyệt đối theo thang Kelvins;  $\pi$  - số pi.

Dựa trên kết quả nghiên cứu trong [46], hàm  $f(E)$  dạng hàm mũ cho kết quả tốt nhất. Sai số trung phương trị đo phase đối với sóng mang  $L_2$  được đánh giá theo công thức:

$$m_{\varphi 2} = \frac{f_1}{f_2} \cdot m_{\varphi 1}.$$

Khi đó, dựa trên công thức (2.8), sai số trung phương trị đo phase đối với sóng mang  $L_3$  được đánh giá theo công thức:

$$m_{\varphi 3} = \sqrt{2} \cdot \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot m_{\varphi 1}.$$

Công thức trên là cơ sở để xác định trọng số của trị đo phase đối với sóng mang  $L_3$ .

## **§2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tầng đối lưu đến các trị đo GPS.**

Ảnh hưởng của tầng đối lưu đến tín hiệu điện từ được chia thành 2 thành phần: thành phần khô và thành phần ướt. ảnh hưởng của thành phần khô đến tín hiệu điện từ lớn hơn ảnh hưởng của thành phần ướt. Thành phần khô được xác định dựa trên định luật khí lý tưởng đối với không khí khô và chiếm khoảng 90% ảnh hưởng của tầng đối lưu. Số cải chính vào giả cự ly do ảnh hưởng của thành phần khô của tầng đối lưu đảm bảo để độ chính xác của giả cự ly không tồi hơn 1cm [19]. Tuy ảnh hưởng của thành phần ướt có đại lượng nhỏ hơn so với ảnh hưởng của thành phần khô, nhưng đại lượng này dao động mạnh trong không gian và theo thời gian, thêm vào đó độ chính xác xác định đại lượng này phụ

thuộc vào độ chính xác của các tham số khí tượng được xác định dọc theo đường truyền tín hiệu vệ tinh trong tầng đối lưu.

Đóng góp của thành phần khô vào độ chính xác giả cự ly từ máy thu đến vệ tinh được đánh giá bởi đại lượng 0,3–5m, còn đối với thành phần ướt - 3–60cm phụ thuộc vào điều kiện khí tượng [19]. Do đó việc tính đến ảnh hưởng của tầng đối lưu đến độ chính xác đo GPS là công việc bắt buộc.

Ảnh hưởng của tầng đối lưu đến kết quả đo GPS là nhân tố cơ bản hạn chế độ chính xác xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS [22]. Theo kết quả nghiên cứu trong [20], với góc cao vệ tinh từ  $15^\circ$  trở lên, do ảnh hưởng của tầng đối lưu sai số trung phương xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS được đánh giá ở mức 3 lần lớn hơn sai số trung phương xác định cạnh đo. Trong [21] còn chỉ rõ rằng sai số độ trễ tầng đối lưu ảnh hưởng đến độ chính xác hiệu độ cao trắc địa ở mức 25mm đối với baseline dài đến 50km.

Trong công nghệ GPS, các số cải chính vào trị đo phase và giả cự ly do ảnh hưởng của tầng đối lưu được xác định theo mô hình Seastamoinen hoặc mô hình modofied Hopfield dựa trên việc xác định các tham số khí tượng (áp suất, nhiệt độ, độ ẩm) tại điểm quan sát. Tuy nhiên các mô hình trên chỉ xác định số cải chính do ảnh hưởng của các thành phần khô và ướt tại thiên đỉnh của điểm quan sát. Do đó các số cải chính này còn được gọi là độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh (Troposphere Zenith Delay - TZD). Để chuyển các số cải chính nhận được về hướng từ máy thu đến vệ tinh, ở mức gần đúng xác định, cần chia chúng cho  $\sin E$ , ở đây  $E$  (Elevation) - góc nghiêng của tín hiệu vệ tinh so với đường chân trời đi qua điểm quan sát.

Trong trường hợp chung, số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu được xác định theo công thức:

$$d = d_d \cdot m_d(E) + d_w \cdot m_w(E),$$

ở đây

$d_d$  - độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh do không khí khô;

$m_d(E)$  - hàm ánh xạ (mapping function) của không khí khô;

$d_w$  - độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh do không khí ướt;

$m_w(E)$  - hàm ánh xạ (mapping function) của không khí ướt;

$E$  - góc nghiêng của tín hiệu vệ tinh so với đường chân trời đi qua điểm quan sát.

Rất nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc tính độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh theo các mô hình Seastamoinen hoặc mô hình modofied Hopfield dựa

trên cơ sở xác định các tham số khí tượng (áp suất, nhiệt độ, độ ẩm) tại điểm quan sát không cho kết quả tốt hơn, và nhiều trường hợp cho kết quả tồi hơn, so với việc sử dụng mô hình khí quyển chuẩn [21,23]. Ở Việt Nam thực nghiệm cũng cho kết luận tương tự [77].

Việc sử dụng mô hình khí quyển chuẩn không đòi hỏi phải xác định các tham số khí tượng tại điểm đo GPS. Trong [48] giới thiệu mô hình khí quyển chuẩn được sử dụng trong phần mềm Bernese. Dựa theo mô hình này, áp suất  $P$ , nhiệt độ  $T$  theo thang độ Kenvin, độ ẩm tương đối  $e'$  được xác định theo các công thức sau:

$$P = P_0 \cdot (1 - 2,26 \cdot 10^{-5} \cdot H)^{5,225}$$

$$T = T_0 - 0,0065 \cdot H$$

$$e' = e'_0 \cdot \exp(-6,396 \cdot 10^{-4} \cdot H)$$

ở đây  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $e'_0$  - các giá trị được xác định tương ứng với mực nước biển, ví dụ  $P_0 = 1013,25$  mb;  $T_0 = 291,2$  K;  $e'_0 = 50\%$ ;  $H$  - độ cao của trạm đo GPS.

Với độ cao  $H$  đã biết của trạm đo GPS hoàn toàn tính được các giá trị  $P$ ,  $T$ ,  $e$ . Các giá trị này được đưa vào các công thức của mô hình Saastamoinen để tính độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh.

Độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh được xác định theo mô hình Saastamoinen và có dạng sau [97].

Đối với thành phần khô:

$$d_d = 0,002277 \cdot \frac{P}{F} < \text{cm} > ,$$

ở đây  $P$  – áp suất bề mặt Quả đất (mbar),

$$F = 1 - 0,0026 \cdot \cos \varphi - 0,0028 \cdot H ,$$

$\varphi$  - vĩ độ của điểm,  $H$  - độ cao trắc địa của điểm có đơn vị là km .

Đối với thành phần ướt:

$$d_w = 0,002277 \cdot \left( \frac{1255}{T} + 0,05 \right) \cdot \frac{e}{F} - \text{tg}^2 Z < \text{cm} > ,$$

ở đây  $T$  - nhiệt độ không khí theo thang độ Kenvin,  $e$  - áp suất riêng của hơi nước (mbar),  $Z$  – góc thiên đỉnh của tín hiệu vệ tinh.

Để chuyển độ ẩm tương đối  $e'$  sang áp suất riêng của hơi nước  $e$  sử dụng công thức sau:

$$e = 6,108 \cdot e' \cdot \exp \left[ \frac{17,15 \cdot T - 4684}{T - 38,45} \right].$$

Trong tài liệu [24], các tác giả đã khảo sát 15 hàm ánh xạ khác nhau được giới thiệu khoảng 30 năm gần đây và kết luận rằng đa số các hàm ánh xạ đều cho kết quả tốt với góc cao vệ tinh từ  $15^\circ$  trở lên. Tuy nhiên đối với những ứng dụng GPS độ chính xác cao, các tác giả đề nghị nên dùng các hàm ánh xạ của Lanyi, Herring, Ifadis hay Niell vì 4 hàm này vẫn cho kết quả tốt với góc E hạ thấp đến  $3^\circ$ . Dạng đơn giản nhất của hàm ánh xạ được biểu diễn như sau [1, p. 310]:

$$m(E) = 1/\sin(E).$$

Theo [57], hàm ánh xạ  $m(E)$  có thể được tính theo mô hình Marini:

$$m(E) = (1 + \delta_M) \cdot \frac{1 + k}{\sin E + \frac{\varepsilon}{\sin E + 0,015}},$$

ở đây  $\varepsilon = k/(1 + k)$ ;  $k = B(\varphi, h)/d$ ;  $B(\varphi, h)$  - đại lượng biểu diễn hàm của độ cao  $h$  và vĩ độ  $\varphi$  của trạm đo;  $\delta M$  - sự thay đổi tỷ lệ xích của số cải chính tầng đối lưu;  $d$  - độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh của không khí khô hoặc không khí ướt.

Hàm ánh xạ Niell do A.E. Niell giới thiệu gần đây nhất (1996) [25]. Nó thực ra bao gồm hai hàm riêng biệt: một cho không khí khô và một cho không khí ướt, nhưng đều có dạng chung sau:

$$m(\varepsilon) = \frac{\frac{1}{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}}{\frac{1}{\sin(\varepsilon) + \frac{a}{\sin(\varepsilon) + \frac{b}{\sin(\varepsilon) + c}}}}$$

trong đó các hệ số  $a, b, c$  được xác định theo vĩ độ  $\lambda_i$  và thời điểm đo  $t$ . Đối với hàm ánh xạ khô, hệ số  $a$  tính như sau ( $b$  và  $c$  tương tự)

$$a(\lambda_i, t) = a_{avg}(\lambda_i) + a_{amp}(\lambda_i) \cos \left[ 2\pi \frac{t - T_0}{365.25} \right]$$

Thời điểm đo  $t$  được biểu diễn trong đơn vị ngày,  $T_0 = 28$ . Các giá trị  $a_{avg}$ ,  $b_{avg}$ ,  $c_{avg}$ ,  $a_{amp}$ ,  $b_{amp}$  và  $c_{amp}$  được xác định bằng các nội suy từ bảng dưới đây.

Các hệ số của hàm ánh xạ khô

| Hệ số     | Vĩ độ        |              |              |              |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | 15°          | 30°          | 45°          | 60°          | 75°          |
| $a_{avg}$ | 1.2769934e-3 | 1.2683230e-3 | 1.2465397e-3 | 1.2196049e-3 | 1.2045996e-3 |
| $b_{avg}$ | 2.9153695e-3 | 2.9152299e-3 | 2.9288445e-3 | 2.9022565e-3 | 2.9024912e-3 |
| $c_{avg}$ | 62.610505e-3 | 62.837393e-3 | 63.721774e-3 | 63.824265e-3 | 64.258455e-3 |
| $a_{amp}$ | 0.0          | 1.2709626e-5 | 2.6523662e-5 | 3.4000452e-5 | 4.1202191e-5 |
| $b_{amp}$ | 0.0          | 2.1414979e-5 | 3.0160779e-5 | 7.2562722e-5 | 11.723375e-5 |
| $c_{amp}$ | 0.0          | 9.0128400e-5 | 4.3497037e-5 | 84.795348e-5 | 170.37206e-5 |

Các hệ số của hàm ánh xạ ướt được nội suy theo bảng dưới đây.

Các hệ số của hàm ánh xạ ướt

| Hệ số | Vĩ độ        |              |              |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | 15°          | 30°          | 45°          | 60°          | 75°          |
| $a$   | 5.8021897e-4 | 5.6794847e-4 | 5.8118019e-4 | 5.9727542e-4 | 6.1641693e-4 |
| $b$   | 1.4275268e-3 | 1.5138625e-3 | 1.4572752e-3 | 1.5007428e-3 | 1.7599082e-3 |
| $c$   | 4.3472961e-2 | 4.6729510e-2 | 4.3908931e-2 | 4.4626982e-2 | 5.4736038e-2 |

Như vậy để tính các hàm ánh xạ Niell, chúng ta chỉ cần biết vĩ độ của trạm đo và thời điểm đo mà không cần đến các tham số khí tượng như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm. Mặc dù tồn tại hai hàm ánh xạ riêng biệt nhưng trên thực tế là chúng rất gần nhau. Vì vậy khi cần khảo sát chung độ trễ thiên đỉnh của không khí ướt và khô, người ta thường sử dụng hàm ánh xạ ướt để đại diện.

Mặt khác cần lưu ý rằng độ trễ phương thiên đỉnh lại không phải là hằng số. Tham số này biến động theo không gian và thời gian. Để xử lý tham số này, người ta có thể giả sử rằng nó chỉ không đổi trong khoảng thời gian ngắn (1-2h) và sau chu kỳ đó lại thêm vào mô hình một tham số mới. Cách xử lý thường được chọn là nhảy bậc (step wise) và bước ngẫu nhiên (random walk process).

Do sự gần đúng của các mô hình tính số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu, nên trong quá trình xử lý dữ liệu GPS còn cần đưa số cải chính tính đến sự gần đúng của các mô hình nêu trên dưới dạng ẩn phụ trong phương trình các trị đo GPS. Trong trường hợp này, việc khảo sát ảnh hưởng của góc E đến độ chính xác của hiệu độ cao trắc địa được trình bày trong [67]. Vấn đề này cũng

được nghiên cứu trong nhiều tài liệu, ví dụ [26, 27, 28]. Tiếp theo đây, chúng ta sẽ xem xét việc khảo sát vấn đề này trong [67].

Phương trình số cải chính của hiệu giả cự ly từ 2 trạm đo A, B đến cùng 1 vệ tinh có dạng sau:

$$v_{AB} = \rho_A - \rho_B + \frac{1}{\sin E} \cdot d_{trop} - (\rho_A^{do} - \rho_B^{do}), \quad (2.19)$$

ở đây giả thiết góc E của các tín hiệu vệ tinh tại 2 điểm A và B là như nhau,  $d_{trop}$  - hiệu các số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu vào các giả cự ly  $\rho_A$  và  $\rho_B$ .

Gọi  $X_A, Y_A, Z_A; X_B, Y_B, Z_B; X_S, Y_S, Z_S$  - các tọa độ không gian của các điểm A, B và vệ tinh S.

Do

$$\begin{aligned} \rho_A^2 &= (X_S - X_A)^2 + (Y_S - Y_A)^2 + (Z_S - Z_A)^2, \\ \rho_B^2 &= (X_S - X_B)^2 + (Y_S - Y_B)^2 + (Z_S - Z_B)^2, \end{aligned}$$

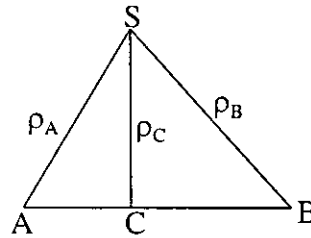
nên

$$\begin{aligned} \rho_A^2 - \rho_B^2 &= (\rho_A - \rho_B) \cdot (\rho_A + \rho_B) = -(2X_S - X_A - X_B) \cdot \Delta X - \\ &- (2Y_S - Y_A - Y_B) \cdot \Delta Y - (2Z_S - Z_A - Z_B) \cdot \Delta Z \end{aligned}$$

ở đây

$$\Delta X = X_B - X_A, \Delta Y = Y_B - Y_A, \Delta Z = Z_B - Z_A.$$

Bây giờ gọi  $(X_C, Y_C, Z_C)^T$  là tọa độ của điểm giữa C của cạnh AB và coi  $\rho_A + \rho_B \approx 2 \cdot \rho_C$ , ở đây  $\rho_C$  - cự ly từ điểm C đến vệ tinh S.



Khi đó

$$\rho_A - \rho_B = -\frac{X_S - X_C}{\rho_C} \cdot \Delta X - \frac{Y_S - Y_C}{\rho_C} \cdot \Delta Y - \frac{Z_S - Z_C}{\rho_C} \cdot \Delta Z. \quad (2.20)$$

Bởi vì hiệu  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  trong (2.20) được tính theo các tọa độ gần đúng của các điểm A và B, nên đặt  $\Delta X = \Delta X^0 + \delta_{\Delta X}; \Delta Y = \Delta Y^0 + \delta_{\Delta Y}; \Delta Z = \Delta Z^0 + \delta_{\Delta Z}$ .

Lưu ý điều này, đặt (2.20) vào (2.19), chúng ta sẽ nhận được phương trình số cải chính của hiệu giả cự ly:

$$v_{AB} = -\frac{X_s - X_c}{\rho_c} \cdot \delta_{\Delta Y} - \frac{Y_s - Y_c}{\rho_c} \cdot \delta_{\Delta Y} - \frac{Z_s - Z_c}{\rho_c} \cdot \delta_{\Delta Z} + \frac{1}{\sin E} \cdot \delta d_{trop} + l_{AB}, \quad (2.21)$$

ở đây

$$l_{AB} = -\frac{X_s - X_c}{\rho_c} \cdot \Delta X^0 - \frac{Y_s - Y_c}{\rho_c} \cdot \Delta Y^0 - \frac{Z_s - Z_c}{\rho_c} \cdot \Delta Z^0 - (\rho_A^{do} - \rho_B^{do}) + \frac{1}{\sin E} \cdot \delta d_{trop}^0;$$

$\delta d_{trop}^0$  - hiệu các số cải chính vào các giả cự ly  $\rho_A^{do}$  và  $\rho_B^{do}$  do ảnh hưởng của tầng đối lưu được tính theo mô hình.

Nếu các góc  $Z$  và  $\alpha$  là các góc thiên đỉnh và phương vị của hướng từ điểm C đến vệ tinh thì chúng ta luôn có biểu thức:

$$\begin{bmatrix} \frac{X_s - X_c}{\rho_c} \\ \frac{Y_s - Y_c}{\rho_c} \\ \frac{Z_s - Z_c}{\rho_c} \end{bmatrix} = \Pi^T \cdot \begin{bmatrix} \sin Z \cdot \cos \alpha \\ \sin Z \cdot \sin \alpha \\ \cos Z \end{bmatrix}, \quad (2.22)$$

ở đây ma trận  $\Pi$  có dạng:

$$\Pi = \begin{bmatrix} -\sin B_c \cdot \cos L_c & -\sin B_c \cdot \sin L_c & \cos B_c \\ -\sin L_c & \cos L_c & 0 \\ \cos B_c \cdot \cos L_c & \cos B_c \cdot \sin L_c & \sin B_c \end{bmatrix}$$

thêm vào đó ma trận  $\Pi$  có tính chất của ma trận vuông góc

$$\Pi \cdot \Pi^T = E_{3 \times 3}, \quad (2.23)$$

còn  $E_{3 \times 3}$  - ma trận đơn vị bậc 3.

Mặt khác, chúng ta luôn có biểu thức:

$$\begin{pmatrix} \delta_{\Delta Y} & \delta_{\Delta Y} & \delta_{\Delta Z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \cdot \delta_{\Delta B} & R \cdot \delta_{\Delta L} & \delta_{\Delta H} \end{pmatrix} \cdot \Pi \quad (2.24)$$

ở đây  $R$  - bán kính trung bình của Quả đất,

$$\delta \Delta \bar{L} = \cos B_c \cdot \delta \Delta L$$

Lưu ý (2.22), (2.23) và (2.24), phương trình (2.21) có dạng:



Sau mỗi thời điểm thu tín hiệu vệ tinh thay đổi đi một khoảng  $\Delta\omega$  trên quả cầu thiên thể. Trong [23] nhận ma trận trọng số P của các phương trình số cải chính dạng (2.25) là ma trận đường chéo với thành phần đường chéo  $P \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0}$ , ở đây P - trọng số tương ứng với phương trình (2.25).

Khi đó, từ (2.25) lập ma trận chuẩn

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} \end{bmatrix},$$

thành phần  $R_{ij}$  được tính theo công thức:

$$R_{ij} = \frac{1}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot C_i \cdot C_j) \cdot d\omega$$

từ đây chúng ta có:

$$R_{11} = \frac{R^2}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \cos^2 E \cdot \cos^2 \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{12} = \frac{R^2}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \cos^2 E \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \cdot d\omega = R_{21};$$

$$R_{13} = R_{31} = \frac{R}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \sin E \cdot \cos E \cdot \cos \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{14} = R_{41} = \frac{-R}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \cotg E \cdot \cos \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{22} = \frac{R^2}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \cos^2 E \cdot \sin^2 \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{23} = R_{32} = \frac{R}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \sin E \cdot \cos E \cdot \sin \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{24} = R_{42} = \frac{-R}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \cotg E \cdot \sin \alpha) \cdot d\omega;$$

$$R_{33} = \frac{1}{\omega_0} \iint_{\omega_0} (P \cdot \sin^2 E) \cdot d\omega;$$

$$R_{34} = R_{43} = \frac{-1}{\omega_0} \iint_{\omega_0} \mathbf{P} \cdot d\omega;$$

$$R_{44} = \frac{1}{\omega_0} \iint_{\omega_0} \frac{\mathbf{P}}{\sin^2 E} \cdot d\omega.$$

Do

$\omega_0 = 2\pi \cdot (1 - \cos \psi_0)$  và  $d\omega = \sin \psi \cdot d\psi \cdot d\alpha$ , nên khi chọn  $\mathbf{P} = 1$  và sử dụng

các quan hệ

$$\int_0^{2\pi} \cos^n \alpha \cdot d\alpha = \int_0^{2\pi} \sin^n \alpha \cdot d\alpha = \begin{cases} 0 & n = 1 \\ \pi & n = 2 \end{cases}$$

và

$$\int_0^{2\pi} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = 0$$

chúng ta có:

$$R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{23} = R_{24} = 0;$$

$$R_{34} = -1$$

$$R_{11} = R_{22} = \frac{R^2}{2 \cdot (1 - \cos \psi_0)} \cdot \int_0^{\psi_0} \cos^2 E \cdot \sin \psi \cdot d\psi$$

Các thành phần  $R_{33}$  và  $R_{44}$  được xác định như sau.

$$R_{33} = \frac{1}{1 - \cos \psi_0} \cdot \int_0^{\psi_0} \sin^2 E \cdot \sin \psi \cdot d\psi$$

Đặt  $t = \cos \psi$  và từ biểu thức

$$\cos^2 E = \frac{\sin^2 \psi}{1 + b^2 - 2b \cdot \cos \psi},$$

ở đây  $b = R/r$ , suy ra:

$$R_{33} = \frac{1}{1 - t_0} \cdot \int_{t_0}^1 \frac{t^2 - 2b \cdot t + b^2}{1 - 2b \cdot t + b^2} \cdot dt$$

Do

$$\frac{t^2 - 2b \cdot t + b^2}{1 - 2b \cdot t + b^2} = -\frac{t}{2b} - \frac{1 - 3 \cdot b^2}{4b^2} + \frac{(1 - b^2)^2}{4b^2} \cdot \frac{1}{1 - 2b \cdot t + b^2}$$

nên

$$R_{33} = \frac{(1 - b^2)^2}{8b^2 \cdot (1 - t_0)} \cdot \ln \left( \frac{1 - 2bt_0 + b^2}{(1 - b)^2} \right) - \frac{1 + b - 3b^2 + b \cdot t_0}{4b^2}$$

Tương tự

$$R_{44} = \frac{1+b}{t_0-b} + \frac{2b}{1-t_0} \ln\left(\frac{t_0-b}{1-b}\right)$$

Giá trị  $t_0 = \cos\psi_0$  được tính theo (2.26) dựa vào góc  $E_0$  cho trước

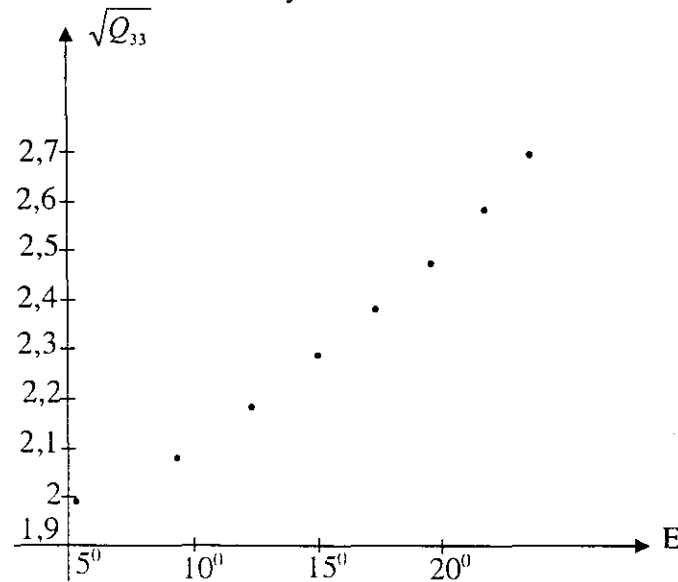
Ma trận nghịch đảo

$$Q = R^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q_{33} & Q_{34} \\ 0 & 0 & Q_{43} & Q_{44} \end{bmatrix},$$

ở đây

$$Q_{11} = 1/R_{11}; \quad Q_{22} = 1/R_{22}; \quad Q_{33} = \frac{R_{44}}{R_{33} \cdot R_{44} - R_{34}^2}; \quad Q_{34} = Q_{43} = -\frac{Q_{33} \cdot R_{34}}{R_{44}} \quad Q_{44} = \frac{1 - Q_{34} \cdot R_{34}}{R_{44}}$$

Để khảo sát độ chính xác của hiệu độ cao trắc địa  $\Delta H$  do việc đưa thêm vào phương trình (2.25) tham số  $\delta d_{\text{trop}}$  phản ánh sự không chính xác của các mô hình tầng đối lưu được sử dụng, chúng ta quan tâm đại lượng  $\sqrt{Q_{33}}$ . Không khó khăn để nhận thấy rằng  $Q_{33}$  là hàm của góc  $E_0$  cho trước. Các kết quả nghiên cứu được phản ánh ở biểu đồ dưới đây.



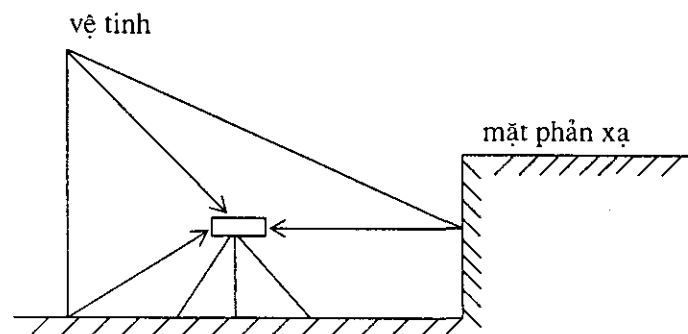
Từ biểu đồ có thể thấy rằng khi góc  $E$  càng lớn, đại lượng  $\sqrt{Q_{33}}$  càng tăng. Do đó trong đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn, để nhận được độ chính xác cao của hiệu độ cao trắc địa cần sử dụng các góc  $E$  nhỏ. Ngoài ra, khi xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao để tính các véc tơ baseline cần sử dụng các phần mềm có sử dụng tham số  $\delta d_{\text{trop}}$  hiệu chỉnh mô hình tầng đối lưu trong các phương trình số cải chính của các trị đo GPS (phase, giả cự ly).

Việc xác định số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu vào các trị đo GPS theo mô hình cần được tiến hành sau mỗi 2 - 6<sup>h</sup> [29]. Dưới góc E thấp ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền sẽ mạnh lên. Để khắc phục điều này sử dụng các dạng anten chuyên dụng, ví dụ anten vòng cảm kháng cao tần đường kính 85cm (85 diameter choke ring) [30] (xem Phụ lục 2).

Vấn đề cuối cùng liên quan đến việc xác định độ ẩm tương đối của không khí nhờ các trạm thường trực thu tín hiệu vệ tinh liên tục. Việc giải quyết vấn đề này cho phép cung cấp dữ liệu để phục vụ việc dự báo khí tượng. Kết quả xử lý dữ liệu đo GPS liên tục, giả sử sử dụng sóng mang  $L_3$ , cho phép xác định được một cách tin cậy số cải chính  $d$  do ảnh hưởng của tầng đối lưu sau những khoảng thời gian nhất định. Dựa trên các kết quả đo áp suất  $P$  và nhiệt độ  $T$  trên các trạm thường trực thu tín hiệu vệ tinh liên tục, chúng ta xác định được thành phần khô  $d_d$  và từ đây suy ra được thành phần ướt  $d_w$ . Khi đã biết thành phần ướt chúng ta có thể xác định được độ ẩm tương đối của không khí  $e'$  vào những thời điểm xác định. Một trong những cơ sở để tập trung vào việc xác định thành phần ướt nhờ kết quả thu tín hiệu GPS liên tục trên các trạm thường trực, như đã trình bày ở trên, là do thành phần này có đại lượng nhỏ và biến đổi nhanh phụ thuộc vào các điều kiện khí tượng. Vấn đề này được nghiên cứu trong nhiều công trình ở nước ngoài, ví dụ [ 98,99].

### **\$2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền.**

Một trong những nguồn sai số cơ bản trong các trị đo GPS là sai số do hiện tượng đa đường truyền (Multipath). Hiện tượng này xảy ra do sự phản xạ tín hiệu từ các địa vật ở quanh máy thu. Việc nhiều tín hiệu từ một vệ tinh đi đến anten máy thu sẽ gây ra sự giao thoa của các tín hiệu này. Tín hiệu vệ tinh có góc nghiêng E càng nhỏ càng nhạy cảm với hiện tượng đa đường truyền.



Ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền đến giả cự ly lớn hơn so với phase sóng mang. Đối với mã C/A ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền có

thể đạt tới 293m. Tuy nhiên ảnh hưởng này không vượt quá  $0,25 \cdot \lambda$  đối với sóng mang [31].

Các biện pháp cơ bản để giảm ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền bao gồm:

- Đặt máy thu ở cách xa các vật phản xạ như toà nhà kính...;
- Sử dụng anten cải tiến sự phân cực của tín hiệu vệ tinh;
- Sử dụng đĩa kim loại đặt dưới anten để ngăn các tín hiệu phản xạ từ phía dưới;
- Sử dụng anten băng tần rộng hoặc anten có mặt hấp thụ tín hiệu (absorbent antenna ground plane).

Khi thu tín hiệu vệ tinh, người ta sử dụng hệ số SNR (Signal - to - Noise Ratio) để phát hiện sự có mặt của sự ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền. Tín hiệu khoẻ khi SNR lớn.

Hiện tượng đa đường truyền được nhắc lại hàng ngày do sự nhắc lại của cấu hình vệ tinh hàng ngày. Ngày sau cấu hình vệ tinh được nhắc lại sớm hơn ngày trước 4 phút. Do đó hiện tượng đa đường truyền được nhắc lại ngày sau sớm hơn 4 phút so với ngày trước. Quy luật này được áp dụng đối với ca đo dài để phát hiện, cục bộ hoá và mô hình hoá hiện tượng đa đường truyền nhằm loại bỏ ảnh hưởng của nó trong kết quả đo GPS liên tục trong nhiều ngày.

#### **\$2.4. Độ lệch và sự biến thiên tâm phase của anten. Sự dinh hướng anten.**

Tâm vật lý của anten là điểm mà các nhà sản xuất anten GPS qui định. Tâm phase của anten là một điểm mà tương ứng với nó thực hiện đo các tín hiệu điện từ. Về cơ bản, tâm phase không tương ứng với tâm vật lý của anten. Tâm phase anten máy thu lại không phải là một điểm duy nhất mà luôn thay đổi theo phương truyền sóng (antenna phase centre variation). Do đó độ lệch của tâm phase (antenna phase centre offset) so với tâm vật lý phụ thuộc vào góc nghiêng E của tín hiệu vệ tinh, phương vị của hướng từ máy thu đến vệ tinh và cường độ của tín hiệu vệ tinh, và khác nhau đối với các sóng mang  $L_1$ ,  $L_2$  [18]. Độ lệch của tâm phase phụ thuộc vào chất lượng của anten do các hãng sản xuất. Độ lệch này thường được xác định trong phòng thí nghiệm [18, P. 123].

Độ chính xác của anten chủ yếu phụ thuộc vào sự biến thiên của tâm phase. Tín hiệu vệ tinh có các trường sóng hình cầu. Do bề mặt của anten không hoàn toàn hình cầu và không hoàn toàn nhẵn, nên xảy ra sự biến thiên của tâm



cả anten phát và anten thu. Theo [33], ảnh hưởng của sự định hướng anten đến phase sóng mang có thể đạt đến 4 cm đối với baseline 4300 km và chỉ 2 - 5mm đối với baseline 480 km. Trong đo đạc GPS độ chính xác cao cần tính đến ảnh hưởng này.

### **\$2.5. Độ lệch tâm phase anten phát của vệ tinh.**

Toạ độ của vệ tinh được tính theo lịch vệ tinh luôn tương ứng với tâm vật chất của vệ tinh đó. Tuy nhiên, vị trí thực tế mà từ đó tín hiệu được truyền lại là tâm phase anten phát của vệ tinh [67]. Do đó bắt buộc phải tính cải chính vị trí tâm phase anten phát của vệ tinh trước khi tính khoảng cách từ máy thu đến vệ tinh.

Các số cải chính tâm phase anten phát của vệ tinh được sử dụng trong phần mềm GAMIT [29] thể hiện ở bảng dưới đây.

| Vệ tinh        | dx (m)   | dy (m)   | dz (m) |
|----------------|----------|----------|--------|
| Block I        | 0,210    | 0,000    | 0,854  |
| Block II & IIA | 0,2794   | 0,000    | 0,9519 |
| Block          | - 0,0031 | - 0,0012 | 1,2053 |

Các số cải chính dx, dy, dz được cho trong hệ toạ độ định vị vệ tinh, mà trong đó trục Z hướng theo anten của hệ thống đạo hàng và hướng vào tâm Quả đất, trục Y dọc theo tấm pin mặt trời và vuông góc với véc tơ vệ tinh - mặt trời, còn trục X bổ sung tạo nên hệ toạ độ tay phải.

### **\$2.6. Kiểm tra sự trượt của chu kỳ.**

Vào từng thời điểm thu được sóng mang tần số  $L_1$  (hoặc  $L_2$ ) từ một vệ tinh nào đó, thiết bị đo phase trong máy thu chỉ đo được phần lẻ của phase sóng mang (trong đơn vị chu kỳ). Tuy nhiên, thiết bị đo phase không xác định được số nguyên đa lần bước sóng từ vệ tinh đó đến máy thu vào thời điểm đầu tiên thu được tín hiệu vệ tinh. Số nguyên lần bước sóng nêu trên được gọi là trị nguyên đa trị. Thiết bị đo phase có bộ đếm (counter) cho phép tích lũy số các bước sóng trôi qua kể từ thời điểm đầu tiên thu được tín hiệu từ vệ tinh đó [34].

Trong thực tế đo đạc GPS có thể xảy ra hiện tượng mất tín hiệu (loss of lock of the phase lock loop). Nguyên nhân của hiện tượng này bao gồm [18]:

- Sự cản tín hiệu vệ tinh của cây cối, các khối nhà, địa hình...,
- Sự nhiễu tín hiệu vệ tinh do các tuyến điện cao thế, các sóng cơ yếu hoặc vô tuyến truyền hình,...v...v;

- Sự nhiễu loạn của tầng điện ly và ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền.

Hệ quả của hiện tượng nêu trên dẫn đến sự nhảy vọt đột ngột trong các trị đo phase bởi số nguyên lần chu kỳ. Sự nhảy vọt này được gọi là sự trượt chu kỳ (cycle slip) [1, P. 352]. Kết quả là bộ đếm của thiết bị đo phase không tích lũy được chính xác số các bước sóng trôi qua. Sự trượt chu kỳ gây ra các sai số thô trong các trị đo phase. Do đó việc kiểm tra sự có mặt của sự trượt chu kỳ và sửa chữa trị đo phase do sự trượt chu kỳ là công việc bắt buộc đối với quá trình hiệu chỉnh toán học các trị đo phase trong bài toán xử lý dữ liệu GPS độ chính xác cao. Nếu tại thời điểm  $t$  xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ đối với trị đo phase của sóng mang từ máy thu  $j$  đến vệ tinh  $i$ , thì trong tất cả các hiệu phase kép được tính sau thời điểm  $t$  và có sự tham gia của trị đo phase  $\varphi(i, j)$  đều bị ảnh hưởng của sai số  $\Delta$  gây ra do sự trượt chu kỳ. Tuy nhiên chỉ có 1 hiệu phase bội bị ảnh hưởng của sai số  $\Delta$  [1, p. 353].

Do đó các hiệu phase bội thường được sử dụng để kiểm tra sự có mặt của hiện tượng trượt chu kỳ theo kỹ thuật đánh giá ổn định (Robust) khi coi sai số  $\Delta$  như sai số thô. Việc phát hiện thời điểm xảy ra sự trượt chu kỳ có thể được thực hiện trên cơ sở phân tích hiệu các số cải chỉnh của các hiệu phase bậc hai. Điều này sẽ cho biết trị đo phase chứa sai số  $\Delta$  vào thời điểm  $t$ .

Việc kiểm tra sự có mặt của sự trượt chu kỳ có thể được thực hiện nhờ phép lọc Kalman [1, P. 355].

Việc hiệu chỉnh trị đo phase do sự trượt chu kỳ là công việc rất khó khăn, bởi vì bắt buộc phải xác định chính xác số nguyên chu kỳ cần hiệu chỉnh. Việc sử dụng các sóng mang hai tần số  $L_1$  và  $L_2$  mở ra các khả năng to lớn để giải quyết bài toán kiểm tra và hiệu chỉnh sự trượt chu kỳ.

Goi  $\Delta N_1$  và  $\Delta N_2$  là các đại lượng của sự trượt chu kỳ trong các phase  $\phi_1$  và  $\phi_2$  của các sóng mang tần số  $L_1$  và  $L_2$  vào thời điểm  $t$ .

Khi đó đối với sóng dải rộng, từ (2.11) suy ra công thức tính sự trượt chu kỳ trong sóng dải rộng (còn gọi là tổ hợp  $L_5$ ):

$$\Delta N_w = \Delta N_1 - \Delta N_2. \quad (2.27)$$

Từ (2.8) chúng ta có thể viết công thức tính sự trượt chu kỳ đối với sóng mang  $L_3$ :

$$\Delta N_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta N_1 - \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \Delta N_2. \quad (2.28)$$

Theo [30], dựa trên việc xử lý phase sóng dải rộng có thể đánh giá đại lượng  $\Delta N_w$  (2.27) trên mỗi thời điểm thu tín hiệu vệ tinh.

Khi xử lý các phase của sóng  $L_3$  và sóng dải rộng có thể đánh giá được các đại lượng  $\Delta N_w$  và  $\Delta N_3$ . Khi đó các đại lượng trượt chu kỳ trong các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$ , dựa trên (2.27) và (2.28), được xác định theo các công thức sau [17]:

$$\Delta N_1 = \frac{f_1 + f_2}{f_1} \cdot \Delta N_3 - \frac{f_2}{f_1 - f_2} \cdot \Delta N_w$$

$$\Delta N_2 = \frac{f_1 + f_2}{f_1} \cdot \Delta N_3 - \frac{f_1}{f_1 - f_2} \cdot \Delta N_w$$

Ngoài ra có thể sử dụng chỉ phase của sóng mang  $L_3$  để kiểm tra và hiệu chỉnh sự trượt chu kỳ trên các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$ .

Tồn tại rất nhiều các phương pháp khác nhau để kiểm tra và hiệu chỉnh sự trượt chu kỳ trong các phase của các sóng mang dựa trên việc sử dụng các tổ hợp của các phases sóng mang và các giả cự ly được xác định theo các mã  $P_1$  và  $P_2$ .

Khi biểu diễn phương trình trị đo phase trong đơn vị met, thay cho (2.2) thường sử dụng phương trình có dạng sau:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}(i, j, t) = & \rho(i, j, t) + c \cdot \left( dt_i - dT_j \right) + \lambda \cdot N(i, j) - \frac{c}{f} \cdot I(i, j, t) + \\ & + \frac{c}{f} \cdot T(i, j, t) + \frac{c}{f} \cdot m(i, j) + c \cdot (\delta(i, t) - \delta(j, t)) + \frac{c}{f} \cdot \left( \varphi_i(t_0) - \varphi_j(t_0) \right) + \varepsilon_{ij} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Đối với các phase của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$  có thể tạo được sóng mang  $L_4$  dưới dạng sau:

$$\bar{\varphi}_4(i, j, t) = \bar{\varphi}_1(i, j, t) - \bar{\varphi}_2(i, j, t) = \lambda_1 \cdot N_4(i, j) - \lambda_1 \cdot I_4(i, j, t) + (\lambda_1 - \lambda_2) \cdot T(i, j, t) + \varepsilon_4,$$

ở đây

$$N_4(i, j) = N_1(i, j) - \frac{f_1}{f_2} \cdot N_2(i, j);$$

$$I_4(i, j, t) = I_1(i, j) - \frac{f_1}{f_2} \cdot I_2(i, j)$$

Trong tổ hợp sóng mang  $L_4$  không có tham số hình học ( các tọa độ của vệ tinh và máy thu ), các số cải chỉnh đồng hồ của máy thu và vệ tinh. Do đó tổ hợp sóng mang  $L_4$  được sử dụng để kiểm tra và sửa chữa độ trượt chu kỳ trong trường hợp các tọa độ vệ tinh và máy thu không biết hoặc biết không chính xác.

Tổ hợp sóng mang  $L_5$  được tạo như sau:

$$\bar{\varphi}_5(i, j, t) = \frac{f_1 \cdot \bar{\varphi}_1 - f_2 \cdot \bar{\varphi}_2}{f_1 - f_2} =$$

$$= \rho(i, j, t) + c \cdot \left( dt_i - dt_j \right) + \lambda_5 N_5(i, j) - \lambda_5 \cdot (I_1(i, j, t) - I_2(i, j)) + \varepsilon_{ij} .$$

Trong tổ hợp trên, số cải chính tầng đối lưu bị triệt tiêu. Tổ hợp này được sử dụng để xác định sự trượt chu kỳ và giải đa trị với việc xác định  $N_5(i, j)$

$$= N_1(i, j) - N_2(i, j), \text{ ở đây } \lambda_5 = \frac{c}{f_1 - f_2} .$$

Tổ hợp sóng mang  $L_6$  được tạo như sau:

$$\bar{L}_6(i, j, t) = \bar{\varphi}_5(i, j, t) - \frac{f_1 \cdot R_1 - f_2 \cdot R_2}{f_1 - f_2} ,$$

ở đây  $R_1$  và  $R_2$  ký hiệu các giả cự ly được xác định theo các mã  $P_1$  và  $P_2$ .

$$\text{Cuối cùng } \bar{L}_6(i, j, t) = \lambda_5 \cdot N_5(i, j) + \varepsilon_{ij} .$$

Tổ hợp phase sóng mang  $L_6$  được Melbourne và Wubbena nghiên cứu và được gọi là tổ hợp tuyến tính Melbourne – Wubbena.

Trong tổ hợp này hoàn toàn loại bỏ tất cả các nguồn sai số cơ bản trong công nghệ GPS và không chứa các giá trị tọa độ của máy thu và vệ tinh. Do đó tổ hợp này được áp dụng rất hiệu quả để kiểm tra và sửa chữa các độ trượt chu kỳ của các trị đo phase trong file RINEX.

Việc kiểm tra và sửa chữa độ trượt chu kỳ trong các trị đo phases đòi hỏi phải sử dụng tất cả các tổ hợp sóng mang đã được nghiên cứu ở trên.

## **§2.7. Ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý đến chất lượng đo GPS trên các khoảng cách lớn.**

Khi sử dụng các dịch vụ do tổ chức IGS cung cấp hoàn toàn có thể đạt được độ chính xác vị trí mặt bằng tương hỗ ở mức 1-3mm và độ chính xác hiệu độ cao trắc địa cao hơn 10mm bằng công nghệ GPS [36].

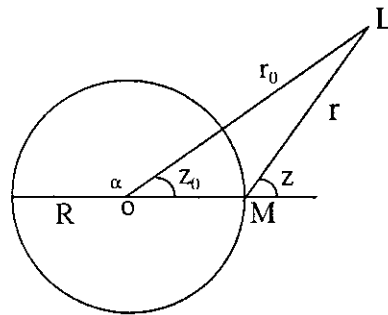
Tuy nhiên để đạt độ chính xác xác định vị trí của các điểm GPS ở mức một vài mm không thể không tính đến sự ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý như hiện tượng triều của vật thể Quả đất (Earth body Tide), sức tải thủy triều đại dương (Ocean Tide Loading), thủy triều của cực Quả đất (Polar Tides) và sức tải áp suất khí quyển (Atmospheric Pressure Loading) [37].

Sự biến dạng triều của Quả đất do sự hút của mặt trăng và mặt trời có thể gây ra sự xê dịch vị trí mặt bằng và độ cao ở mức 40 cm trong vòng 6<sup>h</sup> [42]. Thủy triều của đại dương gây ra sự biến thiên có chu kỳ sức tải vật chất bề mặt

trên mặt Quả đất và gây ra sự biến dạng thủy triều ở mức 10 cm ở một số khu vực trên thế giới [43]. Hiện tượng triều của cực Quả đất có thể gây ra sự xô dịch vị trí trên mặt Quả đất đến 15 mm [44]. Sức tải áp suất khí quyển có thể gây ra sự xô dịch độ cao ở mức một vài mm [45].

Quả đất không phải là thiên thể tuyệt đối cứng. Dưới sự tác động của mặt trăng và mặt trời, Quả đất trở thành vật thể biến dạng đàn hồi. Theo kết quả đo đặc trọng lực độ chính xác cao [39], sự chuyển dịch thẳng đứng của bề mặt Quả đất dưới tác động của mặt trăng và mặt trời có thể đạt tới 40 - 50 cm trên lục địa và 10 m trên các đại dương. ảnh hưởng đồng thời của mặt trăng và mặt trời dẫn đến sự thay đổi của gia tốc lực trọng trường ở mức 0,3 mgl.

Coi mặt trăng hoặc mặt trời là chất điểm L. Dưới tác động của lực hấp dẫn từ chất điểm L đến tâm vật chất O, Quả đất sẽ bị xô dịch và tại điểm M trên mặt Quả đất, lực hấp dẫn sẽ thay đổi đi 1 đại lượng bằng hiệu các lực hấp dẫn tại tâm O và điểm M.



Tại điểm M, khi coi Quả đất là tuyệt đối cứng (Solid Earth), thế triều (Tide Potential) bằng [40]:

$$W_t = \frac{f \cdot M}{r} - \frac{f \cdot M}{r_0},$$

ở đây  $r$  - bán kính - véc tơ địa diện của chất điểm L;  $r_0$  - bán kính - véc tơ địa tâm của chất điểm L;  $f \cdot M$  - hằng số trọng trường Quả đất.

Khi biểu diễn hàm  $\frac{1}{r}$  qua hàm cầu

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_0} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{R}{r_0} \right)^n \cdot P_n(\cos Z_0) = \frac{1}{r_0} \cdot \left[ 1 + \frac{R}{r_0} \cdot \cos Z_0 + \frac{R^2}{r_0^2} \times \left( \frac{3}{2} \cos^2 Z_0 - \frac{1}{2} \right) + \dots \right],$$

ở đây  $R$  - bán kính trung bình Quả đất;  $Z_0$  - khoảng cách thiên đỉnh địa tâm của chất điểm L,

thế thủy triều  $W_t$  có dạng:

$$W_t = \frac{f \cdot M}{r_0} \cdot \left[ \frac{R}{r_0} \cdot \cos Z_0 + \frac{R^2}{r_0^2} \cdot \left( \frac{3}{2} \cos^2 Z_0 - \frac{1}{2} \right) + \dots \right]. \quad (2.30)$$

Do

$$\cos Z_0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t,$$

ở đây  $\varphi$  - vĩ độ của điểm M;  $\delta$  - độ nghiêng của chất điểm L so với mặt phẳng xích đạo của Quả đất;  $t$  - góc giờ của chất điểm L,

nên từ (2.30) có thể thấy rằng thế triều là hàm tọa độ của thiên thể L thay đổi theo chu kỳ và chứa các thành phần thay đổi với các chu kỳ 1 ngày đêm, nửa ngày đêm, 1 tháng, 1 năm....

Thành phần chính của  $W_t$  là thành phần thứ hai trong công thức (2.30).

Khi đó

$$W_t = \frac{f \cdot M \cdot R^2}{2 \cdot r_0^3} \cdot (3 \cdot \cos^2 Z_0 - 1). \quad (2.31)$$

Từ (2.31) có thể tính được sự biến dạng của mặt đẳng thế so với mặt vật lý Quả đất, tức sự thay đổi dị thường độ cao  $\delta\epsilon$  của điểm M dưới sự thay đổi của thế thủy triều:

$$\delta\epsilon = \frac{W_t}{\gamma} = \frac{fM \cdot R^2}{2\gamma \cdot r_0^3} \cdot (3 \cdot \cos^2 Z_0 - 1).$$

Đối với mặt trăng:

$$\delta\epsilon_D = 17,8 \cdot (3 \cdot \cos^2 Z_0 - 1) \quad <\text{cm}>.$$

Đối với mặt trời:

$$\delta\epsilon_\odot = 8,2 \cdot (3 \cdot \cos^2 Z_0 - 1) \quad <\text{cm}>.$$

Đối với ảnh hưởng tổng hợp của mặt trăng và mặt trời,  $\delta\epsilon_{\max} = 52$  cm khi  $Z_0 = 0^0$  và  $\delta\epsilon_{\min} = -26$  cm khi  $Z_0 = 90^0$ .

Đối với Quả đất biến dạng đàn hồi, đại lượng  $\delta\epsilon$  được tính theo công thức:

$$\delta\bar{\epsilon} = \delta\epsilon \cdot \left( 1 + h_2 - \frac{3}{2} k_2 \right),$$

ở đây  $h_2$  và  $k_2$  - các số Love.

Các kết quả đo đạc độ chính xác trên các trạm thủy triều cho thấy rằng biên độ dao động của thủy triều ảnh hưởng đến gia tốc lực trọng trường đối với Quả đất biến dạng đàn hồi lớn hơn khoảng 1, 2 lần so với Quả đất cứng, tức:

$$1 + h_2 - \frac{3}{2} k_2 = 1,2.$$

Khi đo đạc GPS trên các khoảng cách lớn thời gian thu tín hiệu vệ tinh thường kéo dài trong nhiều ngày. Do đó phải tính đến sự ảnh hưởng của thể thủy triều đến sự xê dịch vị trí của trạm đo GPS.

Nếu coi:

$$\delta H = \delta \bar{\epsilon}_D + \delta \bar{\epsilon}_\oplus$$

là sự thay đổi độ cao trắc địa do ảnh hưởng của mặt trăng và mặt trời, thì sự thay đổi vị trí của điểm đo thể thủy triều được xác định theo công thức:

$$\delta X = \delta H \cdot \cos B \cdot \cos L,$$

$$\delta Y = \delta H \cdot \cos B \cdot \sin L,$$

$$\delta Z = \delta H \cdot \sin B.$$

Công thức nêu trên cho phép tính số cải chính tọa độ của trạm thu tín hiệu vệ tinh do hiệu ứng sức tải triều dưới sự tác động của mặt trăng và mặt trời vào mỗi thời điểm thu tín hiệu vệ tinh. Đây là một trong những điều kiện để nhận lời giải cuối cùng (fixed solution) trong quá trình giải đa trị. Tuy nhiên để làm được điều này cần sử dụng các bản lịch mặt trăng và mặt trời được lập cho năm đo GPS. Phòng thí nghiệm phản lực (Jet Propulsion Laboratory-JPL) của Mỹ cung cấp lịch mặt trăng và mặt trời hàng năm và có thể truy cập internet để nhận loại lịch nêu trên theo địa chỉ sau: <http://ssd.jpl.nasa.gov>. Trong tài liệu [67] đã chỉ rõ rằng để nhận được vectơ baseline độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn bắt buộc phải thực hiện cải chính tọa độ của trạm thu tín hiệu vệ tinh do hiệu ứng sức tải triều dưới sự tác động của mặt trăng và mặt trời vào mỗi thời điểm thu tín hiệu vệ tinh trong quá trình xử lý phase.

Việc tính đến ảnh hưởng của biến dạng xoay do chuyển động cực đến tọa độ điểm GPS được đề xuất trong [41]. Sự thay đổi thể do sự chuyển động của cực Quả đất có dạng [37]:

$$\Delta V(r, \theta, \lambda) = -\frac{\omega^2 \cdot r^2}{2} \cdot \sin 2\theta \cdot (m_1 \cdot \cos \lambda + m_2 \cdot \sin \lambda),$$

ở đây  $\omega$  - tốc độ góc quay trung bình của Quả đất;  $r$  - bán kính véc tơ địa tâm của điểm trên mặt Quả đất;  $\theta = 90^\circ - \varphi$ , ở đây  $\varphi, \lambda$  - vĩ độ và kinh độ của điểm GPS;  $m_1$  và  $m_2$  - các tham số đặc trưng cho sự chuyển động của cực Quả đất.

Sự thay đổi vị trí của điểm theo bán kính véc tơ địa tâm  $r$  (theo độ cao), theo vĩ độ  $\varphi$  và kinh độ  $\lambda$  được xác định theo các công thức sau [37]:

$$\delta r = \delta \varepsilon = h_2 \cdot \frac{\Delta V}{\gamma},$$

$$\delta \theta = \delta \varphi = \frac{l_2}{\gamma} \cdot \partial \theta \cdot \Delta V,$$

$$\delta \lambda = \frac{l_2}{\gamma \cdot \sin \theta} \cdot \partial \lambda \cdot \Delta V,$$

ở đây  $h_2$  và  $l_2$  là các số Love, thêm vào đó  $h_2 = 0,0627$  và  $l_2 = 0,0836$ .

Cuối cùng

$$\delta r = \delta \varepsilon = -32 \cdot \sin 2\theta \cdot (x_p \cdot \cos \lambda - y_p \cdot \sin \lambda) \quad < \text{mm} >;$$

$$\delta \theta = -9 \cdot \cos 2\theta \cdot (x_p \cdot \cos \lambda - y_p \cdot \sin \lambda) \quad < \text{mm} >;$$

$$\delta \lambda = 9 \cdot \cos \theta \cdot (x_p \cdot \sin \lambda + y_p \cdot \cos \lambda) \quad < \text{mm} >;$$

ở đây  $x_p, y_p$  - các tham số định hướng của cực Quả đất có đơn vị giây cung (arc second).

Tổ chức IERS cung cấp các tham số  $x_p, y_p$  trong file c04-yyyy.erp, ở đây yyyy chỉ năm xác định các tham số này. Cấu trúc của file này với ví dụ vào 0<sup>h</sup>00<sup>m</sup> ngày 1/1/2002 có dạng như sau:

IERS C04 POLE

---

|                           |    |    |      |    |          |         |           |         |
|---------------------------|----|----|------|----|----------|---------|-----------|---------|
| CELESTIAL POLE OFFSET: NO |    |    |      |    |          |         |           |         |
| DATE                      |    |    | TIME |    | X-POLE   | Y-POLE  | UT1-UTC   | GPS-UTC |
| YYYY                      | MM | DD | HH   | MM | (")      | (")     | (s)       | (s) REM |
| 2002                      | 1  | 1  | 0    | 0  | -0,17697 | 0,29396 | -0,115825 | 13.C04  |

|         |         |          |          |          |         |         |
|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
| RMS XP  | RMS YP  | RMS DT   | DE-CPO   | DP-CPO   | RMS EP  | RMS PS  |
| (")     | (")     | (s)      | (")      | (")      | (")     | (")     |
| 0,00000 | 0,00000 | 0,000000 | -0,00066 | -0,05316 | 0,00000 | 0,00000 |

Các số cải chính nêu trên được sử dụng để cải chính vị trí của trạm đo GPS do ảnh hưởng của triều cực Quả đất.

Dưới sự tải áp suất khí quyển, bề mặt Quả đất có xu hướng chuyển động xuống dưới với tốc độ 0,5 mm/mbar và dẫn đến sự thay đổi độ cao của điểm [45]. Sự thay đổi độ cao dưới sự tải áp suất khí quyển được xác định theo công thức [37]:

$$\delta r = \alpha \cdot (p - p_0),$$

ở đây  $\alpha$  là hệ số tải áp suất khí quyển;  $p$  - áp suất đo được tại điểm đo;  $p_0$  - áp suất tại trạm qui chiếu.

Trong [41] cho công thức khác:

$$\delta r = -0,35 \cdot P - 0,55 \cdot \bar{P},$$

ở đây  $p$  - áp suất tại điểm đo;  $\bar{p}$  - áp suất trung bình trong vùng xung quanh với bán kính 2000km.

Dưới tác động của thủy triều đại dương đã quan sát được dao động của độ lệch dây dọi do sự nghiêng của mặt đẳng thế so với mặt vật lý của Quả đất. Sự nghiêng của mặt đẳng thế chủ yếu do ảnh hưởng của sóng vùng hoạt động mạnh trong khu vực vĩ tuyến từ  $35^{\circ}16'$  B đến  $35^{\circ}16'$  N [39]. Chu kỳ thay đổi của sóng vùng đối với mặt trăng là 14 ngày đêm và đối với mặt trời là 6 tháng. Sức tải thủy triều đại dương dẫn đến sự thay đổi sự tải của khối lượng vật chất ( mật độ vật chất )  $L(\varphi, \lambda)$  tại điểm GPS có kinh độ  $\lambda$  và vĩ độ  $\varphi$  . Sự thay đổi sự tải của khối lượng vật chất làm thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất tương ứng với gốc của Hệ tọa độ không gian của Quả đất và điều này dẫn đến sự thay đổi vị trí của điểm đo. Sự thay đổi này được đánh giá dựa trên mô hình Quả đất cứng (Solid, rigid Earth) [38]:

$$\delta X = \frac{R}{M} \cdot \sum_{\varphi=-\varphi_0}^{\varphi_0} \sum_{\lambda=0}^{2\pi} \cos \varphi \cdot \cos \lambda \cdot L(\varphi, \lambda) \cdot ds,$$

$$\delta Y = \frac{R}{M} \cdot \sum_{\varphi=-\varphi_0}^{\varphi_0} \sum_{\lambda=0}^{2\pi} \cos \varphi \cdot \sin \lambda \cdot L(\varphi, \lambda) \cdot ds,$$

$$\delta Z = \frac{R}{M} \cdot \sum_{\varphi=-\varphi_0}^{\varphi_0} \sum_{\lambda=0}^{2\pi} \sin \varphi \cdot L(\varphi, \lambda) \cdot ds,$$

ở đây  $M$  - khối lượng Quả đất;  $R$  - bán kính trung bình của Quả đất;  $ds = R^2 \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \cdot d\lambda$ ;  $(-\varphi_0, \varphi_0)$  - vùng nghiên cứu được giới hạn bởi vĩ độ từ  $-\varphi_0$  đến  $\varphi_0$

Việc nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý đến sự xê dịch vị trí điểm là rất quan trọng đối với việc đo đạc GPS độ chính xác cao ở mức một vài mm trên các khoảng cách lớn với ca đo dài, thậm trí đến hàng chục ngày đêm. Trong ca đo như vậy, ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý chu kỳ ngắn (nửa ngày, một ngày) dễ dàng được phát hiện và có biện pháp loại trừ trong quá trình xử lý dữ liệu GPS. Tuy nhiên ảnh hưởng của các yếu tố địa vật lý chu kỳ trung bình và dài (14 ngày đêm, 1 tháng....v...v...) cần được mô hình hoá để xác định các số hiệu chỉnh tương ứng trong quá trình hiệu chỉnh dữ liệu GPS.

## §2.8. Vai trò của lịch vệ tinh chính xác trong đo đạc GPS độ chính xác cao.

*Một trong những yếu tố quyết định hàng đầu trong việc đạt được độ chính xác xác định các thành phần của vector baseline ở mức mm là việc sử dụng lịch vệ tinh chính xác được tính toán trong ITRF-yy do Tổ chức IGS cung cấp. Các mức độ chính xác lịch vệ tinh do tổ chức IGS cung cấp được trình bày trong §1.4.*

Giả thiết rằng các nguồn sai số cơ bản (các sai số các đồng hồ vệ tinh và máy thu, các sai số do ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng đối lưu) trong giả cự ly đo được từ công nghệ GPS đã bị loại bỏ bằng các số cải chính tương ứng. Khi đó chỉ còn lại sai số vị trí vệ tinh là nguồn sai số chính. Đại lượng  $m_p$  lúc này được đặc trưng bởi sai số vị trí vệ tinh và được xác định bởi mức độ chính xác của lịch vệ tinh. Nhận  $\rho = 20.000.000\text{m}$ . Với độ chính xác vị trí vệ tinh khác nhau, từ (I.3) chúng ta có bảng sau.

| Loại lịch vệ tinh                                    | $m_p$  | $\frac{m_s}{S}$     |
|------------------------------------------------------|--------|---------------------|
| - Lịch vệ tinh phát tín<br>- Lịch vệ tinh chính xác. | 20 m   | $1 \cdot 10^{-6}$   |
| <u>Mức 1</u>                                         | 0,05 m | $2,5 \cdot 10^{-9}$ |
| <u>Mức 2</u>                                         | 0,1 m  | $5 \cdot 10^{-9}$   |
| <u>Mức 3</u>                                         | 2 m    | $1 \cdot 10^{-7}$   |

Từ kết quả của bảng trên, với các chiều dài của các baseline khác nhau chúng ta sẽ nhận được các giá trị của sai số trung phương chiều dài baseline  $m_s$  trong bảng dưới đây.

| S (km)     | Mức độ chính xác lịch vệ tinh | $m_s$ (mm) |
|------------|-------------------------------|------------|
| 900 ÷ 1000 | 1                             | 2,4        |
|            | 2                             | 4,8        |
| 600 ÷ 800  | 1                             | 1,7        |
|            | 2                             | 3,4        |
| 300 ÷ 500  | 2                             | 2,0        |
|            | 2                             | 0,4        |
| 80 ÷ 100   | 3                             | 8 – 10     |
| 50 ÷ 70    | 3                             | 6          |
| 20 ÷ 40    | 3                             | 3          |

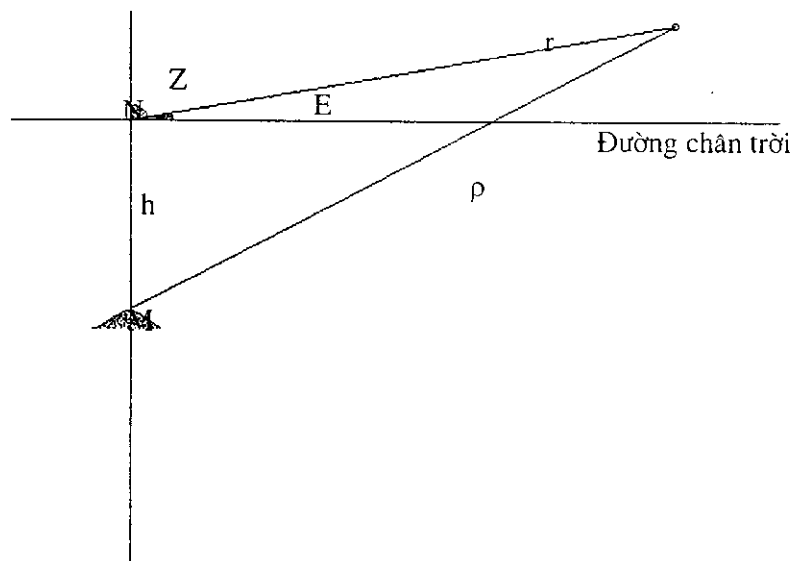
Các số liệu ở bảng trên là cơ sở để đánh giá ước tính độ chính xác vị trí mặt bằng và độ cao khi thiết kế các mạng lưới GPS dựa trên các mức độ chính xác của lịch vệ tinh.

### \$2.9. Vấn đề xác định độ cao Anten máy thu trong việc áp dụng công nghệ GPS.

Vấn đề xác định độ chính xác xác định độ cao Anten máy thu GPS là một trong những tiêu chuẩn kỹ thuật quan trọng của việc áp dụng công nghệ GPS trong thực tế đo đạc trắc địa. Trong hàng loạt tài liệu nước ngoài về công nghệ GPS, ví dụ [1, 2] đã chỉ rõ rằng “Sai số đo độ cao Anten là nguồn sai số tiềm tàng... công nghệ GPS không giải phóng được dạng sai số đo đạc này” hoặc “các sai lầm trong việc đo độ cao Anten là nguồn sai số chung nhất trong đo đạc với công nghệ GPS”.

Để hiểu biết được ảnh hưởng của độ cao Anten đến độ chính xác đo đạc GPS và xây dựng tiêu chuẩn kỹ thuật cho việc xác định độ cao Anten cần phải nghiên cứu và xác định mối quan hệ giữa độ cao Anten máy thu GPS và các số gia toạ độ  $\Delta X_{pq}$ ,  $\Delta Y_{pq}$ ,  $\Delta Z_{pq}$ , giữa 2 điểm p, q (được xác định theo công nghệ GPS).

Trong [78] đã xây dựng mối quan hệ giữa độ cao Anten của máy thu và các số gia toạ độ, và hình thành cơ sở cho việc tiêu chuẩn hoá độ chính xác đo độ cao Anten..



ở hình trên, M - Tâm mốc; N - tâm phase của Anten máy thu; h - độ cao Anten; NS = r - giả cự ly từ vệ tinh S đến tâm phase của Anten vào thời điểm thu tín hiệu t; E - góc nghiêng (elevation) của tín hiệu vệ tinh so với đường chân trời đi qua tâm phase N; ρ - giả cự ly cần xác định; Z - góc thiên đỉnh.



ở đây  $d$  – bán kính (radial) của vòng tròn đĩa Anten;  $b$  – khoảng cách từ mép dưới Anten đến tâm phase điện từ (electrical phase center);  $h_3$  - độ cao từ tâm mốc trắc địa đến tâm phase điện từ.

Các giá trị  $b$  và  $d$  được cho đối với mỗi mô hình Anten. Tuy nhiên đối với các phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS khác nhau, độ cao Anten được đưa vào bởi người sử dụng sẽ khác nhau. Ví dụ đối với phần mềm BERNESE độ cao được đưa vào máy tính là  $h_2$  (độ cao từ tâm mốc trắc địa đến đáy (base) của Anten), thêm vào đó

$$h_2 = h_3 - a,$$

ở đây  $a$  - tham số được cho đối với mỗi mô hình Anten.

Ở Việt Nam trong đo đạc GPS độ chính xác cao sử dụng rộng rãi loại Anten COMPACT  $L_1/L_2$  with ground plane tương ứng với mô hình Anten TRM22020.00 + GP (22020-00I) với các tham số  $d = 0,23340\text{m}$ ;  $a = 0,0625\text{m}$  và  $b = 0,0069\text{m}$ . Đối với loại Anten này các tâm phase điện từ của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$  trùng nhau.

Bây giờ dựa vào lý thuyết giao hội cạnh không gian của giáo sư E.G. Boiko (1986, Rusia) vào thời điểm  $t$  tại điểm  $M_1$  khi xác định được 3 giá trị giả cự ly  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  từ 3 vệ tinh  $S_1, S_2, S_3$  có thể xác định tọa độ không gian của điểm  $M_1$ . Để đơn giản chúng ta biểu thị lý thuyết dưới dạng ma trận:

$$\begin{bmatrix} X_{M1} \\ Y_{M1} \\ Z_{M1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \rho_i \cdot \gamma, \quad (2.33)$$

ở đây  $X_i, Y_i, Z_i$  - tọa độ không gian của vệ tinh  $S_i$  vào thời điểm  $t$ ;  $\rho_i$  giả cự ly xác định được từ vệ tinh  $S_i$  đến điểm  $M_1$  vào thời điểm  $t$ .

Bây giờ chọn vệ tinh  $S_1$  làm vệ tinh cơ sở (base). Khi đó đối với điểm  $M_1$ , vector

$$\gamma = \begin{bmatrix} \beta \\ \text{-----} \\ n \end{bmatrix} - n \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \text{-----} \\ O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ m \\ n \end{bmatrix},$$

ở đây

$$\alpha = (1/\det Q^*) \cdot Q^* \cdot \begin{bmatrix} \frac{Z_2 - Z_1}{D_{12}} \\ \frac{Z_3 - Z_1}{D_{13}} \end{bmatrix}$$

$$\beta = (1/\det Q^*) \cdot Q^* \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_{12}^2 + \rho_1^2 - \rho_2^2}{2\rho_1 \cdot D_{12}} \\ \frac{D_{13}^2 + \rho_1^2 - \rho_3^2}{2\rho_1 \cdot D_{13}} \end{bmatrix}$$

$$Q^* = \begin{bmatrix} (y_3 - y_1)/D_{13} & -(y_2 - y_1)/D_{12} \\ (x_3 - x_1)/D_{13} & (x_2 - x_1)/D_{12} \end{bmatrix}$$

$D_{ij}$  - khoảng cách từ vệ tinh  $S_i$  đến vệ tinh  $S_j$  vào thời điểm  $t$ ;  $i, j = (1, 2, 3)$ ;  $i \neq j$ ;

$$n = (q \pm \sqrt{q^2 - P \cdot T})/P$$

$$P = 1 + \alpha^T \cdot \alpha; q = \beta^T \cdot \alpha; T = \beta^T \beta - 1;$$

$n > 0$  đối với Nam bán cầu;  $n < 0$  đối với Bắc bán cầu.

Nếu từ 2 điểm  $M_1$  và  $M_2$  đồng thời thu được các tín hiệu từ 3 vệ tinh  $S_1, S_2, S_3$  vào thời điểm  $t$ , thì ký hiệu  $\rho_{i,M1}$  - giả cự ly từ điểm  $M_1$  đến vệ tinh  $S_i$ ;  $\rho_{i,M2}$  - giả cự ly từ điểm  $M_2$  đến vệ tinh  $S_i$ . Khi chọn vệ tinh  $S_1$  làm vệ tinh cơ sở đối với cả hai điểm  $M_1$  và  $M_2$  trên cơ sở công thức (2.33) suy ra công thức xác định hiệu toạ độ không gian giữa hai điểm  $M_1$  và  $M_2$ :

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{M1, M2} = \begin{bmatrix} \gamma_{M2} & \vdots & -\gamma_{M1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \rho_{i, M2} \\ \dots\dots\dots \\ \rho_{i, M1} \end{bmatrix} = A \cdot \rho. \quad (2.34)$$

Từ công thức (2.34) chúng ta thấy toạ độ tuyệt đối của vệ tinh  $S_1$  không tham gia vào công thức tính hiệu toạ độ không gian giữa 2 điểm  $M_1$  và  $M_2$ . Đây là ưu điểm nổi bật của phương pháp đo GPS tương đối trong việc xác định hiệu toạ độ không gian độ chính xác cao giữa 2 điểm khi tính đến sai số vị trí của vệ tinh.

Thay  $\rho$  từ (2.32) vào (2.34) sẽ nhận được công thức:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{M1, M2} = A \cdot \begin{bmatrix} r_{i, M2} \\ \dots\dots\dots \\ r_{i, M1} \end{bmatrix} + \bar{A} \cdot \begin{bmatrix} h_{M2} \\ \dots\dots\dots \\ h_{M1} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

ở đây:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} l_{M2} \cdot \sin E_{i, M2} & \vdots & -l_{M1} \cdot \sin E_{i, M1} \\ m_{M2} \cdot \sin E_{i, M2} & & -m_{M1} \cdot \sin E_{i, M1} \\ n_{M2} \cdot \sin E_{i, M2} & & -n_{M1} \cdot \sin E_{i, M1} \end{bmatrix}$$

$E_{i, M}$  - góc của phương truyền tín hiệu từ vệ tinh  $S_i$  đến điểm M so với đường chân trời.

Lưu ý sự độc lập của giá trị đo giả cự ly  $r$  và độ cao Anten  $h$ , dựa trên lý thuyết tổng quát đánh giá độ chính xác hàm các trị đo, từ (2.35) suy ra công thức tính ma trận liên hệ của các giá số tọa độ không gian:

$$K_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} = m_r^2 \cdot A \cdot A^T + m_h^2 \cdot \bar{A} \bar{A}^T, \quad (2.36)$$

ở đây  $m_r$  - độ chính xác đo giả cự ly  $r$ ;  $m_h$  - sai số trung phương đo độ cao Anten.

Từ công thức (2.36) có thể rút ra công thức xác định sai số trung phương của các số gia tọa độ:

$$\begin{aligned} m_{\Delta X}^2 &= m_r^2 \cdot (l_{M1}^2 + l_{M2}^2) + m_h^2 \cdot (l_{M2}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M2} + l_{M1}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M1}) \\ m_{\Delta Y}^2 &= m_r^2 \cdot (m_{M1}^2 + m_{M2}^2) + m_h^2 \cdot (m_{M2}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M2} + m_{M1}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M1}) \\ m_{\Delta Z}^2 &= m_r^2 \cdot (n_{M1}^2 + n_{M2}^2) + m_h^2 \cdot (n_{M2}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M2} + n_{M1}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M1}) \end{aligned} \quad (2.37)$$

Để ảnh hưởng của sai số trung phương xác định độ cao Anten có thể coi là bỏ qua, có thể áp dụng tiêu chuẩn thường dùng trong trắc địa đối với công thức (2.37):

$$m_h^2 \cdot (\alpha_{M2}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M2} + \alpha_{M1}^2 \cdot \sin^2 E_{i, M1}) \leq 0,11 \cdot m_r^2 \cdot (\alpha_{M2}^2 + \alpha_{M1}^2) \quad (2.38)$$

ở đây:  $\alpha = l, m, n$  - các Cosin góc định hướng từ điểm M đến vệ tinh  $S_i$ .

So sánh 2 vế của (2.38) sẽ đi đến tiêu chuẩn:

$$0,11 \cdot m_r^2 \geq m_h^2 \cdot \sin^2 E_{i, p}$$

hay

$$m_h \leq 0,332 \cdot m_r \cdot \operatorname{Cosec} E_{i, p}, \quad (2.39)$$

ở đây p ký hiệu các điểm  $M_1$  và  $M_2$ .

Từ công thức (2.32) có thể thấy khi  $E = 90^\circ$ , tức Anten máy thu nằm trùng với phương truyền tín hiệu, toàn bộ giá trị của độ cao Anten đi vào giá trị của giả cự ly tính được  $\rho$ . Từ công thức (2.39) có thể thấy rằng khi góc E càng lớn thì yêu cầu xác định độ chính xác độ cao Anten máy thu càng cao.

Trong kỹ thuật đo đạc vô tuyến sai số trung phương  $m_r$ , được xác định bằng  $\lambda/100$ , ở đây  $\lambda$  - chiều dài bước sóng. Dựa trên công thức (2.38) đối với các sóng mang tần số L chúng ta sẽ có bảng sau:

| Tín hiệu GPS | $m_r$    | $m_h \leq$     |            |            |            |
|--------------|----------|----------------|------------|------------|------------|
|              |          | $E = 10^\circ$ | $30^\circ$ | $45^\circ$ | $60^\circ$ |
| $L_1$        | 0,2 cm   | 0,4 cm         | 0,1 cm     | 1 mm       | 1 mm       |
| $L_2$        | 0,25 cm  | 0,5 cm         | 0,2 cm     | 1 mm       | 1 mm       |
| Dải rộng     | 0,862 cm | 1,6 cm         | 0,6 cm     | 4 mm       | 3 mm       |
| Dải hẹp      | 0,107 cm | 0,2 cm         | 1 mm       | 0,5 mm     | 0,4 mm     |

Như đã thấy ở trên, khi đo đạc GPS bởi các máy thu 1 tần số và 2 tần số yêu cầu độ chính xác xác định độ cao Anten rất cao.

Yêu cầu độ chính xác xác định góc E không cao. Thật vậy, từ công thức (2.32) khi coi độ cao Anten máy thu được đo với độ chính xác rất cao và bỏ qua sai số trung phương  $m_h$  suy ra:

$$m_\rho^2 = m_r^2 + (m_E^2 / \rho^2) \cdot \cos^2 E \cdot h^2$$

Sai số trung phương  $m_E$  được coi là nhỏ có thể bỏ qua khi thoả mãn bất đẳng thức:

$$0,11 \cdot m_r^2 \geq (m_E^2 / \rho^2) \cdot \cos^2 E \cdot h^2$$

hay:

$$m_E \leq 0,332 \cdot m_r \cdot (\rho^2 / h \cdot \cos E)$$

Các đánh giá sai số trung phương  $m_E$  theo các sóng mang tần số L được trình bày ở bảng dưới (chọn  $h = 2$  m).

| Tín hiệu GPS | $m_E \leq$ |                |            |            |            |
|--------------|------------|----------------|------------|------------|------------|
|              | $m_r$      | $E = 10^\circ$ | $30^\circ$ | $45^\circ$ | $60^\circ$ |
| $L_1$        | 0,2 cm     | 70"            | 79"        | 97"        | 137"       |
| $L_2$        | 0,25 cm    | 87"            | 99"        | 121"       | 171"       |
| Dải rộng     | 0,862 cm   | 300"           | 341"       | 417"       | 590"       |
| Dải hẹp      | 0,107 cm   | 37"            | 42"        | 52"        | 73"        |

Trong thực tế, khi cân bằng Anten máy thu theo bọt thủy hướng MN trùng với phương độ lệch dây dọi. Trong khi đó góc đỉnh Z được tính tương ứng với

đường vuông góc với mặt Elipxoid WGS - 84 đi qua điểm M. Do yêu cầu xác định độ chính xác góc E không cao (như đã thấy ở bảng trên) hoàn toàn có thể bỏ qua việc tính toán ảnh hưởng của độ lệch dây dọi đến góc thiên đỉnh Z.

Do đặc độ cao anten độ chính xác cao là yêu cầu không thể thiếu được trong công tác đo đặc độ chính xác cao, ảnh hưởng của sai số độ cao anten  $\delta H$  đến sai số vị trí không gian của điểm GPS được đánh giá theo công thức sau:

$$\delta X = \cos B. \cos L. \delta H,$$

$$\delta Y = \cos B. \sin L. \delta H,$$

$$\delta Z = \sin B. \delta H.$$

ở đây B và L – vĩ độ và kinh độ trắc địa của điểm.

Lãnh thổ Việt Nam nằm trong vùng với vĩ độ trắc địa thay đổi từ  $8 - 24^\circ$  và kinh độ trắc địa thay đổi từ  $102 - 111^\circ$ . Kết quả phân tích dựa trên công thức nêu trên cho thấy trên lãnh thổ Việt Nam, ảnh hưởng của sai số độ cao anten  $\delta H$  đến thành phần  $\delta Y$  (trong giá trị tuyệt đối) lớn gấp 3 – 4 lần ảnh hưởng của sai số đó đến các thành phần  $\delta X$  và  $\delta Z$ . Điều này cho phép kiểm tra sự đúng đắn của việc sử dụng độ cao anten trong quá trình xử lý phase để tính các thành phần của vectơ baseline theo các ca đo.

#### **\$2.10. Xác định số lượng ca đo và khoảng thời gian cho 1 ca đo.**

Mạng lưới GPS độ chính xác cao được xây dựng bằng phương pháp đo tĩnh (Static). Việc xây dựng mạng lưới GPS đòi hỏi phải xác định các véc tơ baseline độc lập giữa các điểm của mạng lưới đó. Điều này được đảm bảo bởi việc xác định các ca đo (Sessions) GPS trên mạng lưới đang được xây dựng. Nếu gọi R là số lượng máy thu có được để đo đặc GPS và N là tổng số điểm của mạng lưới GPS thì khi  $N > R$  phải tiến hành đo GPS theo các giai đoạn, thêm vào đó trong một giai đoạn sử dụng hết R máy thu.

Trong một giai đoạn đo GPS với R máy thu sẽ có nhiều ca đo. Mỗi ca đo đảm bảo xác định một số lượng xác định các véc tơ baselines độc lập. Trong ca đo đầu tiên luôn xác định được (R - 1) véc tơ baselines độc lập. (R - 1) (R - 2)/2 véc tơ baselines còn lại sẽ được đo tiếp trong các ca đo tiếp theo.

Việc xác định số lượng ca đo trong một giai đoạn đo lưới là rất quan trọng trên quan điểm hiệu quả kinh tế nhằm hạn chế tối đa việc di chuyển các máy thu giữa các điểm đo GPS.

Trong [18, p. 155] cho công thức tính tổng số các ca đo n khi đo lưới với N điểm và có R máy thu:

$$n = \left\lceil \frac{m \cdot N}{R} \right\rceil,$$

ở đây  $m$  - số lần phải đo lặp trên mỗi điểm của mạng lưới; dấu  $\lceil \bullet \rceil$  - làm tròn đến số nguyên lớn nhất.

Tuy nhiên trong thực tế không phải bao giờ cũng đo  $m$  lần trên 1 điểm. Trong đề tài nghiên cứu này, các tác giả đề xuất công thức tính tổng số ca đo như sau:

$$n = \left\lceil \frac{N_r}{R-1} \right\rceil,$$

ở đây  $N_r$  - tổng số các véc tơ baselines trong mạng lưới GPS được thiết kế.

Như vậy, trong một giai đoạn đo với  $R$  máy thu đồng thời thu tín hiệu vệ tinh trên  $R$  điểm, tổng số các ca đo được tính theo công thức sau:

$$n = \left\lceil \frac{R}{2} \right\rceil.$$

Từ công thức (2.32) có thể thấy rằng độ cao anten  $h$  như là một đại lượng chung tham gia vào việc tính giả cự ly từ một máy thu đến các vệ tinh trong 1 ca đo. Do đó, để loại trừ sự phụ thuộc của các véc tơ baselines được xác định giữa các ca đo, cần thay đổi độ cao anten của máy thu khi chuyển từ ca đo này sang ca đo khác.

Khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh cho 1 ca đo là vấn đề rất quan trọng. Một trong những điều kiện cơ bản trong việc xác định véc tơ baseline là phải đảm bảo để tín hiệu từ 1 vệ tinh đồng thời thu được tại hai máy thu đặt ở 2 đầu của baseline đó.

Do đặt ngưỡng cho góc ngưỡng vệ tinh  $E$ , nên chiều dài baseline càng lớn thì càng thu hẹp vùng nhìn thấy của vệ tinh từ 2 đầu của baseline. Do đó khi chiều dài baseline càng lớn, thời gian thu tín hiệu vệ tinh càng tăng. Điều này đảm bảo để xác định đủ các hiệu phase bậc hai trong bài toán giải các trị nguyên đa trị. Nếu trong 1 ca đo gồm  $R$  máy thu thu được đồng thời tín hiệu từ  $S$  vệ tinh, thêm vào đó mỗi máy thu thực hiện  $T$  lần thu tín hiệu (epoch) thì tổng số các hiệu phase kép độc lập bằng  $(R - 1) \cdot (S - 1) \cdot T$ .

Trong thực tế, tùy theo vị trí địa lý của các trạm thu xảy ra rất nhiều tình huống:

- Vệ tinh cơ sở (base) được chọn để tính các hiệu phase kép độc lập lẫn xuống và phải chọn vệ tinh khác làm vệ tinh cơ sở;
- Xảy ra hiện tượng trượt chu kỳ đối với tín hiệu từ 1 vệ tinh nào đó;
- Có vệ tinh đang mọc (cần tính trị nguyên đa trị cho phase sóng mang nhận từ nó) và có vệ tinh đã lặn (chấm dứt việc tính trị nguyên đa trị cho phase sóng mang từ vệ tinh này).

Với các tình huống nêu trên, các dữ liệu đo trong 1 ca đo phải phân thành các nhóm (gaps) và tính các trị nguyên đa trị theo từng nhóm. Vì lý do này có thể xảy ra trường hợp không giải được các trị nguyên đa trị trong 1 nhóm do không đủ số các hiệu phase kép trong nhóm đó.

Để tránh các trường hợp nêu trên, trong thực tế đối với khoảng cách giữa 2 máy thu càng lớn, thời gian thu tín hiệu vệ tinh trong 1 ca đo càng dài. Hiện nay chưa có công thức chính thức để xác định khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh trong 1 ca đo phụ thuộc vào khoảng cách. Trong [62], bằng kết quả thực nghiệm đối với 11 baseline với chiều dài trong khoảng từ 26km đến 300km, khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh từ 4<sup>h</sup> đến 24<sup>h</sup>, sử dụng lịch vệ tinh chính xác do Tổ chức IGS cung cấp và giải đa trị với nghiệm FIX, các tác giả đã nhận được độ chính xác của các thành phần baseline theo các công thức thực nghiệm sau:

$$\begin{aligned} m_{\Delta X} &= K_X / T^{0.5} & , & < \text{mm} > \\ m_{\Delta Y} &= K_Y / T^{0.5} & , & < \text{mm} > \\ m_{\Delta Z} &= K_Z / T^{0.5} & , & < \text{mm} > \end{aligned}$$

ở đây T – khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh ( đơn vị giờ - h ), các hệ số

$$K_X = 9,5 \pm 2,1 \text{ mm.h}^{0.5}$$

$$K_Y = 9,9 \pm 3,1 \text{ mm.h}^{0.5}$$

$$K_Z = 36,5 \pm 9,1 \text{ mm.h}^{0.5}$$

Theo các công thức trên, với chiều dài baseline 300km và khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh T = 24<sup>h</sup> chúng ta có các sai số trung phương lớn nhất:

$$m_{\Delta X} = 2,4 \text{ mm} ,$$

$$m_{\Delta Y} = 2,7 \text{ mm} ,$$

$$m_{\Delta Z} = 9,3 \text{ mm} ,$$

và các sai số trung phương nhỏ nhất:

$$m_{\Delta X} = 1,5 \text{ mm} ,$$

$$m_{\Delta Y} = 1,4 \text{ mm} ,$$

$$m_{AZ} = 5,6 \text{ mm.}$$

Mặc dù các công thức nêu trên chỉ có tính chất tham khảo, nhưng chúng chỉ ra một thực tế rằng việc đạt được độ chính xác của các thành phần baseline ở mức mm trên khoảng cách vài trăm km là một thực tế. Trong thực tế khi đo GPS trên khoảng cách lớn hàng trăm đến hàng ngàn km, khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh có thể kéo dài liên tục nhiều ngày đêm. Ngoài ra trong quá trình đo cần lựa chọn góc ngưỡng vệ tinh thích hợp và trong quá trình xử lý dữ liệu GPS cần sử dụng các dữ liệu địa vật lý. Khi tính toán đầy đủ tất cả các điều kiện nêu trên, chúng ta sẽ có các công thức thực nghiệm tin cậy hơn để đánh giá các sai số trung phương của các thành phần baseline theo khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh.

## **B. CÁC TÍNH NĂNG KỸ THUẬT CỦA CÁC PHẦN MỀM HIỆN ĐẠI ĐƯỢC SỬ DỤNG ĐỂ XỬ LÝ DỮ LIỆU ĐO GPS ĐỘ CHÍNH XÁC CAO TRÊN CÁC KHOẢNG CÁCH LỚN.**

Hiện nay trên thị trường có nhiều phần mềm xử lý dữ liệu GPS. Những phần mềm này có thể được xây dựng từ các trường đại học, các viện nghiên cứu hay từ các công ty sản xuất máy thu GPS nhằm phục vụ cho các mục đích nghiên cứu khoa học và đáp ứng các yêu cầu của các ứng dụng GPS độ chính xác cao. Mặc dù cấu trúc chi tiết của các phần mềm xử lý dữ liệu GPS rất khác nhau, nhưng chúng có một số chức năng chung cần phải có để xử lý dữ liệu GPS độ chính xác cao.

Thành phần chính của một phần mềm GPS thường bao gồm các mô đun sau:

- Mô đun hỗ trợ cho việc lập lịch đo;
- Mô đun hỗ trợ cho việc thu thập dữ liệu ngoài thực địa;
- Mô đun kiểm tra và xử lý khái lược dữ liệu đo GPS;
- Mô đun xử lý baseline đơn và nhiều baseline cùng một lúc;
- Mô đun bình sai lưới GPS;
- Mô đun chuyển đổi toạ độ GPS sang toạ độ địa phương.

Các mô đun quan trọng là Mô đun kiểm tra và xử lý khái lược dữ liệu đo GPS và Mô đun xử lý baseline đơn. Chúng ta sẽ xem xét hai mô đun này.

**Mô đun kiểm tra và xử lý khái lược dữ liệu đo GPS** có những chức năng và nhiệm vụ sau :

### 1. Định dạng dữ liệu GPS nhập.

Nguồn dữ liệu GPS thu được từ những máy thu khác nhau nên có những định dạng khác nhau. Các phần mềm thường cho phép nhập nhiều kiểu định dạng và chuyển chúng sang một kiểu riêng dùng trong phần mềm. Hầu như tất cả các phần mềm đều hiểu định dạng RINEX và bản lịch vệ tinh chính xác SP3. Tuy kiểu định dạng dữ liệu GPS trong từng phần mềm rất khác nhau, nhưng nó phải đảm bảo một số những yêu cầu sau đây:

- Chiếm dung lượng nhỏ trên đĩa nhưng vẫn không làm giảm tốc độ truy xuất dữ liệu cho những quá trình xử lý tiếp theo;
- Thuận lợi cho việc xử lý theo nhiều chọn lựa khác nhau như: dùng bản lịch phát tín hoặc bản lịch chính xác, có hoặc không khảo sát tham số của mô hình tầng đối lưu, dùng các kiểu trị đo khác nhau (L1, L2, L3);
- Dễ dàng thành lập các trị đo kết hợp như hiệu đơn, hiệu kép và hiệu bội;
- Dễ dàng chuyển sang các định dạng khác, đặc biệt là RINEX.

### 2. Định vị điểm.

Chức năng này được sử dụng để xác định tọa độ khái lược của trạm đo. Thông thường các phần mềm sử dụng các giả cự ly được làm tròn trên cơ sở các trị đo phase và mã P để tính tọa độ không gian của trạm đo theo phương pháp giao hội cạnh không gian. Chức năng xử lý này còn kiêm thêm nhiệm vụ khảo sát số hiệu chỉnh đồng hồ máy thu và có thể bỏ qua những phân đoạn dữ liệu xấu do đồng hồ máy thu không ổn định hay từ những vệ tinh xấu.

### 3. Phát hiện và sửa chữa trượt chu kỳ pha.

Hiện tượng trượt chu kỳ phase sóng mang đã được xem xét ở mục §2.6. Trượt chu kỳ phase xảy ra khi sự quan trắc liên tục một vệ tinh bị ngắt quãng bởi chướng ngại vật, anten di chuyển quá nhanh, quá trình xử lý bên trong máy thu có lỗi hay ngay cả ảnh hưởng của tầng điện ly vào tín hiệu GPS. Những điều này làm cho bộ đếm pha tích hợp ngừng hoạt động khi tín hiệu lock-on khởi động lại. Trượt vòng phase nói chung xảy ra ở một máy thu quan trắc một vệ tinh và hiếm khi xảy ra đồng thời ở tất cả các máy thu. Việc trượt có thể xảy ra độc lập trên tần số L1 và L2.

Từ thời điểm xảy ra trượt chu kỳ phase, các trị đo phase bị dịch đi cùng một số nguyên chu kỳ phase và do đó trị nguyên đa trị tương ứng cũng thay đổi theo. Vì lý do này mà trượt chu kỳ cần phải được sửa chữa trong các trị đo phase

trước khi đưa vào xử lý. Đây cũng là nhiệm vụ quan trọng nhất trong mô đun xử lý khái lược dữ liệu do GPS.

Nhiều kỹ thuật đã được phát triển để thực hiện nhiệm vụ trên. Có thể chia làm hai bước cụ thể là: phát hiện và sửa chữa. Việc phát hiện luôn luôn dễ hơn là sửa chữa vì nó phụ thuộc vào kiểu định vị, chiều dài baseline, dạng máy thu một hay hai tần số:

- Phát hiện và sửa chữa trên dữ liệu hai tần số dễ hơn một tần số;
- Phát hiện và sửa chữa trên dữ liệu ở dạng hiệu dễ hơn trên dữ liệu thô vì nó khử đi các nguồn sai số chung;
- Phát hiện và sửa chữa trên dữ liệu đo tĩnh dễ hơn dữ liệu đo động;
- Phát hiện và sửa chữa trên dữ liệu tương ứng với chiều dài baseline ngắn dễ hơn so với chiều dài baseline dài;
- Phát hiện và sửa chữa dữ liệu ở kiểu hậu xử lý dễ hơn trường hợp xử lý thời gian thực.

Trường hợp mà chúng ta quan tâm là hậu xử lý cho dữ liệu định vị tương đối, tĩnh, độ chính xác cao trên chiều dài baseline dài. Trong trường hợp này sử dụng máy thu hai tần số, tức là dữ liệu đo có sẵn trên cả hai tần số với tốc độ thu dữ liệu thường là 30 giây.

Các phần mềm tin cậy thường scan phần dư của các trị đo ở dạng hiệu kép hay hiệu bội để phát hiện và ước lượng số chu kỳ phase bị trượt. Bởi vì các trị đo ở dạng hiệu (hiệu kép hay hiệu bội) cho phép khử và giảm đáng kể các nguồn sai số chung, nên thành phần chính trong phần dư là số chu kỳ phase bị trượt. Do ảnh hưởng còn lại của các sai số chung trong phần dư lại gia tăng theo chiều dài của baseline, nên độ trượt phase ở các chiều dài baseline lớn được xác định với độ tin cậy không cao.

Để gia tăng độ tin cậy xác định độ trượt, các thuật toán nên tiến hành trên nhiều trị đo kết hợp để loại trừ các sai số hệ thống như sau

- Trị đo  $L_1$  cho phép khử đi ảnh hưởng độ trễ tầng điện ly là nguồn sai số đáng kể trong các chiều dài baseline lớn;
- Trị đo  $L_4$  cho phép khử đi hầu hết các nguồn sai số và chỉ còn giữ lại ảnh hưởng của tầng điện ly và trị nguyên đa trị;
- Trị đo Melbourne-Wubbena khử đi hầu hết các nguồn sai số, thành phần chủ yếu còn lại là trị nguyên đa trị.

Một phần mềm tin cậy luôn tiến hành kiểm tra trên tất cả các tổ hợp trên. Nếu phát hiện ra sự trượt chu kỳ phase, nó sẽ dựa trên các phần dư trước và sau khi xảy ra độ trượt để xác định độ lớn của độ trượt trên các trị đo kết hợp, và sau đó tính ra độ trượt chu kỳ trong các trị đo phase của các sóng mang  $L_1$  và  $L_2$ .

Mô đun xử lý baseline được sử dụng khi các dữ liệu phase được đưa vào mô đun đã “sạch” các độ trượt chu kỳ phase và các dữ liệu xấu từ những nguyên nhân khác. Cùng với dữ liệu phase là thông tin các tọa độ của các vệ tinh quan trắc ở từng thời điểm đo.

Để đạt được kết quả định vị cao nhất, mô đun này phải hiệu chỉnh sự thay đổi vị trí của trạm thu dưới ảnh hưởng của lực hút mặt trăng, mặt trời, sự chuyển động của cực quả đất (xem mục §2.7). Mặt khác các nguồn sai số cấp hai như sự lệch tâm phase anten cũng phải được hiệu chỉnh vào trị đo.

Liên quan đến việc xử lý chính xác baseline dài cần có việc xem xét nên xử lý đa baseline hay baseline đơn, trị đo nào cho kết quả tốt nhất, các chiến lược khảo sát tham số độ trễ tầng đối lưu và một khía cạnh quyết định khác là quá trình giải đa trị tin cậy.

Nói chung có hai cách xử lý một mảng đo GPS có  $n$  máy thu đồng thời: xử lý từng baseline đơn và xử lý đồng thời  $n-1$  baseline độc lập (xử lý đa baseline).

Cách xử lý đa baseline có phân tích đến mối liên hệ giữa các trạm đo quan sát đồng thời thông qua mô hình chức năng cho trị đo hiệu kép  $i$ , chứa đựng những tham số liên kết các baseline độc lập. Ví dụ nếu baseline 1-2 và 2-3 được dùng để tạo ra các trị đo hiệu kép thì tham số tọa độ của trạm đo 2 sẽ xuất hiện ở cả hai baseline. Do đó các baseline này liên hệ với nhau về mặt chức năng. Mối quan hệ giữa các trạm đo được đưa vào xử lý thông qua ma trận trọng số của các trị đo hiệu kép. Cách xử lý đường đáy đơn bỏ qua mối liên hệ giữa các trạm đo.

Chiến lược khảo sát tham số đa trị đóng vai trò rất quan trọng trong bài toán xác định vectơ baseline độ chính xác cao với chiều dài lớn. Có một vài tiêu chuẩn để xác định phương pháp giải đa trị thích hợp nhất. Chúng phụ thuộc vào những yếu tố sau [68]:

- Dạng trị đo phase và trị đo mã có sẵn trên hai tần số;
- Chiều dài baseline;
- Thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên trạm đo bao lâu.

Nếu trị đo phase có sẵn trên hai tần số, nhiều nhà nghiên cứu ([68], [69], [70]) đã chấp nhận kỹ thuật được gọi là dải rộng (wide-laning technique) để giải

đa trị cho các baseline dài. Trong kỹ thuật đó, các trị đo được xử lý qua hai bước. Trước hết sử dụng tổ hợp tuyến tính  $L_5$  hay Melbourne-Wubbena xác định các tham số đa trị dải rộng. Trong lần xử lý tiếp theo, trị đo  $L_5$  được sử dụng để giải tham số đa trị dải hẹp sau khi đã nhận được giá trị của tham số đa trị dải rộng ở bước trước đó.

Phương pháp dùng  $L_5$  với một mô hình điện ly đơn giản (một tham số) đã được đề nghị bởi một vài nhà nghiên cứu như Blewitt [70], Beutler et al. [71], Rothacher và Mervart [68]. Cách này giúp chúng ta giải đa trị dải rộng cùng với các tham số độ trễ điện ly thiên đỉnh, nếu tọa độ khái lược của trạm đo và vệ tinh đủ chính xác. ưu điểm của phương pháp này là không đòi hỏi phải có trị đo khoảng cách giả hoặc khi trị đo này độ chính xác không cao do ảnh hưởng của hiện tượng đa đường. Tuy nhiên đối với các baseline dài ở những vùng dọc vành đai xích đạo hay trên vĩ độ cao, mô hình điện ly đơn giản sẽ không đủ tốt để giải đa trị dải rộng vì độ trễ điện ly ở hai trạm đo hai đầu sẽ không còn tương tự nhau nữa. Vì vậy phương pháp này chỉ giới hạn cho các đường đáy ngắn hơn 100 km [72]. Một chọn lựa khác là thay vì khảo sát tham số độ trễ điện ly, chúng ta có thể nhận được giá trị chính xác của nó bằng cách nội suy từ các bản đồ điện ly toàn cầu. Những bản đồ này được cung cấp hàng ngày ở trung tâm phân tích CODE bắt đầu từ ngày 1-1-1996 [73]. Quá trình này chắc chắn sẽ cải thiện việc giải đa trị dải rộng khi dùng  $L_5$  và nên được nghiên cứu sâu hơn để vận dụng vào phần mềm xử lý.

Khi có sẵn trị đo khoảng cách giả độ chính xác cao thì việc dùng tổ hợp tuyến tính Melbourne-Wubbena để giải đa trị dải rộng là rất tin cậy và hầu như không phụ thuộc vào chiều dài baseline. Vì vậy phương pháp này được sử dụng nhiều nhất đối với các baseline dài. Tuy nhiên chất lượng của trị đo mã sẽ đóng một vai trò then chốt vì nó thường chịu ảnh hưởng nặng nề của hiện tượng đa đường truyền (do bước sóng dài). Để giúp cho quá trình giải thành công, cần phải lấy trung bình tham số đa trị dải rộng qua khoảng thời gian dài [69].

Nếu như có hai phương pháp để giải tham số đa trị dải rộng thì việc giải đa trị dải hẹp chủ yếu tập trung vào trị đo  $L_5$  ([68], [69], [70], [71], [74]). Tiếp theo tham số đa trị dải rộng được thay bằng các giá trị nguyên đã giải ở bước 1, tham số đa trị dải hẹp và những tham số khác sẽ được khảo sát đồng thời. Trong phương trình trị đo  $L_5$ , tham số đa trị dải hẹp được nhân với một hằng số 0.56, làm cho độ lớn của tham số đa trị nhỏ đi (10.7 cm). Do ảnh hưởng của tầng điện ly hầu như bị triệt tiêu trong  $L_5$  và nếu những nguồn sai số khác ảnh hưởng rất

nhỏ trong trị đo phase hiệu kép thì tham số đa trị dải hẹp sẽ được giải với độ tin cậy cao ngay cả ở những baseline dài [70]. Do đó, phương pháp này đã được ứng dụng vào hầu hết các phần mềm xử lý độ chính xác cao như GAMIT [74], BERNESE [68], vv.

Cuối cùng, chúng ta xem xét tiêu chuẩn giải đa trị. Bản chất của tham số đa trị là các số nguyên. Khi giải đa trị, các giá trị của các tham số đa trị là các số thực. Do đó cần qui các giá trị này về các số nguyên. Tuy nhiên, quá trình này không đơn giản, đặc biệt đối với trường hợp các baseline dài với sự gia tăng của các nguồn sai số hệ thống. Trong phần này sẽ xem xét các tiêu chuẩn thường áp dụng cho baseline dài có thời gian đo lâu.

Hai yếu tố thường được chọn để quyết định chọn số nguyên tương ứng là giá trị thực của tham số đa trị ( $b$ ) và sai số trung phương của nó ( $\sigma_b^2$ ). Hai yếu tố này rút ra từ kết quả xử lý với các tham số đa trị là các số thực. Việc xem xét hai yếu tố trên có thể riêng biệt [75] hay đồng thời trong một hàm xác suất chung ([69], [70]).

Nếu việc xử lý được tiến hành theo phương pháp bình sai truy hồi, độ chính xác của ẩn số trong đó có tham số đa trị được cải thiện dần mỗi khi đưa vào xử lý một trị đo mới. Sau một số trị đo nhất định, giá trị đã hiệu chỉnh của các tham số đa trị sẽ thay đổi rất ít và rất gần với một số nguyên nào đó. Talbot [75] đã chỉ ra rằng cố định số nguyên vào tham số đa trị ngay sau khi nó thỏa mãn những tiêu chuẩn đề ra sẽ rất có ích cho việc giải những tham số đa trị còn lại. Tiêu chuẩn mà Talbot đề nghị là

$$\sigma_b < \sigma_b^0$$

$$|\Delta_b| < \Delta_b^0$$

trong đó  $\Delta_b = b - \text{round}(b)$ ;  $\sigma_b^0$  và  $\Delta_b^0$  là giới hạn  $\sigma_b$  và  $\Delta_b$ . Giá trị 0.15 đã được chứng minh là thích hợp cho giới hạn này [75] và được áp dụng trong phần mềm GAMIT [74], tức

$$\sigma_b^0 = 0.15 \text{ (cycles)} \text{ and } \Delta_b^0 = 0.15 \text{ (cycles)}.$$

Cách tiếp cận khác tinh tế hơn được Dong và Bock đề nghị vào 1989 [69]. Cách tiếp cận này dựa trên một hàm quyết định được mô tả như sau

$$d(\Delta_b, \sigma_b) = \frac{F * T}{Q_0},$$

trong đó

$$T = 0 \quad \text{nếu } |\Delta_b| \geq \Delta_b^0 \text{ hay } \sigma_b \geq \sigma_b^0,$$

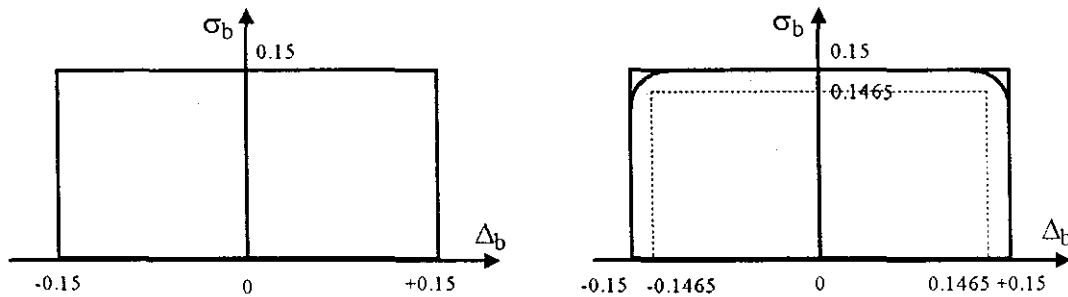
$$T = 3 \left( 1 - \frac{|\Delta_b|}{\Delta_{b_{\max}}} \right)^2 (\sigma_b^0 - \sigma_b) \quad \text{trong trường hợp ngược lại,}$$

$$Q_0 = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{n - |\Delta_b|}{\sqrt{2} \sigma_b} \right) - \operatorname{erfc} \left( \frac{n + |\Delta_b|}{\sqrt{2} \sigma_b} \right) \right],$$

$$F_{i+1} = \prod_i (1 - Q_{0_i}).$$

Các tham số đa trị sẽ được làm tròn vào các số nguyên tương ứng nếu hàm quyết định có giá trị lớn hơn 1000.

Vùng làm tròn nguyên của tham số đa trị là không gian hai chiều, trong đó sai số trung phương ( $\sigma_b$ ) và độ lệch tuyệt đối ( $\Delta_b$ ) của tham số đa trị (b) là hai trục chính của nó. Nếu một tham số đa trị nằm trong vùng làm tròn, có nghĩa là nó thoả mãn tiêu chuẩn đã chọn và sẽ được làm tròn. Sự khác nhau giữa hai tiêu chuẩn Talbot và Dong & Bock là rất nhỏ như chỉ ra ở hình vẽ sau



Vùng làm tròn của Talbot (trái) và Dong & Bock (phải)

### C. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.

Các kết quả nghiên cứu trong chương này có ý nghĩa quan trọng đối với thực tiễn đo đạc và xử lý các dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn phục vụ việc xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học. Chúng ta có thể làm một số kết luận như sau.

#### 1. Các phần mềm được áp dụng để xử lý dữ liệu GPS độ chính xác cao phải có các tính chất sau:

- Sử dụng sóng mang tần số  $L_3$  để loại bỏ ảnh hưởng của tầng đối lưu;
- Có các công cụ phát triển để kiểm tra và sửa chữa các độ trượt chu kỳ;
- Sử dụng lịch vệ tinh chính xác và các dữ liệu địa vật lý trong quá trình xử lý phase;

- Có khả năng sử dụng mô hình khí quyển chuẩn để tính độ trễ tầng đối lưu phương thiên đỉnh và sử dụng hàm ánh xạ để tính số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu. Ngoài ra, trong phương trình trị đo phase có sử dụng ẩn phụ để tính đến ảnh hưởng chưa được tính đến của tầng đối lưu do sự gần đúng của mô hình khí quyển được sử dụng;

- Có tính đến mô hình anten máy thu trong quá trình hiệu chỉnh trị đo phase do độ lệch và sự biến thiên của tâm phase so với tâm vật lý;

- Có tính đến độ lệch của tâm anten phát so với trọng tâm của vệ tinh.

## **2. Quy trình đo đạc GPS độ chính xác cao cần tính đến các yếu tố sau:**

- Sử dụng máy thu hai tần số thu được các tín hiệu mã  $P_1$  và  $P_2$ ;

- Góc ngưỡng E của tín hiệu vệ tinh so với đường chân trời được chọn không nhỏ hơn  $5^\circ$ . Khi thoả mãn điều kiện này, ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền sẽ trở nên mạnh hơn. Để hạn chế ảnh hưởng của hiện tượng này phải chọn điểm đo GPS cách xa các vật cản, đảm bảo sự thoáng đãng bầu trời và trong trường hợp tốt nhất sử dụng anten vòng cảm kháng cao tần (xem phụ lục 2);

- Độ cao anten máy thu phải được đo đạc với độ chính xác rất cao. Khi xử lý dữ liệu đo GPS bằng các phần mềm BERNESE, GAMIT phải tính chuyển độ cao nghiêng (đo được trên thực địa) về độ cao đứng là khoảng cách giữa tâm mốc và đáy anten theo công thức được trình bày trong mục 2.9. Độ cao đứng nêu trên sẽ được đưa vào máy tính để xử lý dữ liệu đo GPS.

- Lựa chọn khoảng thời gian thu tín hiệu vệ tinh phù hợp để đảm bảo giải đa trị với lời giải cuối cùng (fixed);

- Với mục đích đạt hiệu quả kinh tế trong đo đạc GPS và đảm bảo xác định các vectơ baseline độc lập cần xác định số lượng ca đo phù hợp.

### **CHƯƠNG 3. VIỆC ĐẢM BẢO XÁC ĐỊNH ĐỘ CAO CHUẨN BẰNG CÔNG NGHỆ GPS PHỤC VỤ CÁC YÊU CẦU CỦA CÔNG TÁC ĐO ĐẠC VÀ BẢN ĐỒ - MỘT TRONG NHỮNG NHIỆM VỤ CƠ BẢN CỦA HỆ TOA ĐỘ ĐỘNG HỌC.**

#### **§3.1. Đặt vấn đề.**

Để xây dựng mô hình Kvazigeoid chính xác trên lãnh thổ Quốc gia tồn tại hai phương hướng khác nhau:

1. Xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao dựa hoàn toàn trên cơ sở dữ liệu đo đạc trọng lực.

Việc triển khai phương hướng này đòi hỏi phải có các dữ liệu đo đạc trọng lực trên phạm vi lớn bao trùm toàn bộ lãnh thổ Quốc gia và các quốc gia lân cận. Phương hướng này có thể triển khai độc lập bằng phương pháp trọng lực và không dựa trên sự có mặt của Hệ tọa độ động học. Với lý do này, phương hướng đang xem xét không thuộc nội dung nghiên cứu của đề tài này.

2. Xây dựng mô hình Kvazigeoid dựa trên việc sử dụng tổng hợp các dữ liệu đo đạc GPS, thủy chuẩn và trọng lực. Việc triển khai phương hướng này sẽ liên quan chặt chẽ với việc xây dựng Hệ tọa độ động học và xác định cấu trúc của Hệ tọa độ động học Quốc gia. Do đó phương hướng đang xem xét là nội dung nghiên cứu cơ bản của đề tài này.

Trong chương này, chúng ta sẽ chỉ xem xét các vấn đề liên quan đến việc xây dựng mô hình Kvazigeoid dựa trên các dữ liệu đo đạc GPS và thủy chuẩn hình học đảm bảo việc xác định độ cao chuẩn từ hạng III trở xuống bằng công nghệ GPS.

Bởi vì hoàn toàn không kinh tế khi đo dẫn thủy chuẩn hạng I,II Nhà nước vào tất cả các điểm GPS thuộc Hệ tọa độ động học, nên việc đo dẫn thủy chuẩn hạng I,II Nhà nước chỉ được thực hiện đối với các điểm GPS ở hạng xác định để xác định độ cao Kvazigeoid độ chính xác cao của chúng dựa trên kết quả đo GPS và đo đạc thủy chuẩn. Tiếp theo, từ các điểm GPS hạng cao tiến hành nội suy trọng lực để xác định độ cao Kvazigeoid của các điểm GPS ở hạng thấp hơn. Cách thức vừa trình bày ở trên sẽ cho phép xác định được số lượng các hạng của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học và mật độ các điểm GPS trong từng hạng. Phương pháp nội suy trọng lực để xác định độ cao Kvazigeoid sẽ được xem xét trong chương IV của Báo cáo đề tài này. Mạng lưới GPS hạng thấp nhất

trong Hệ tọa độ động học là mạng lưới mà độ chính xác của độ cao Kvazigeoid của các điểm thuộc mạng lưới đó sẽ xác định độ chính xác của mô hình Kvazigeoid được xây dựng với mục đích đảm bảo cơ sở cho việc xác định độ cao chuẩn của các điểm đo chi tiết bằng công nghệ GPS (và đặc biệt bằng công nghệ đo GPS động) để thành lập các bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

Như vậy chức năng của từng mạng lưới GPS ở từng hạng là đảm bảo việc tăng độ cao Kvazigeoid trên toàn lãnh thổ Quốc gia.

Để phân biệt với cách phân hạng đối với các mạng lưới trắc địa cơ bản truyền thống, chúng ta có thể sử dụng các chữ La tinh A, B, C... để ký hiệu cho từng hạng của mạng lưới GPS, thêm vào đó các hạng được xây dựng theo nguyên tắc “từ chung đến riêng”, “từ cao đến thấp”. Mạng lưới GPS hạng AA là mạng lưới có độ chính xác cao nhất.

Hệ tọa độ động học là Hệ tọa độ ba chiều địa tâm. Việc xác định vị trí mặt bằng độ chính xác cao của các điểm trắc địa bằng công nghệ GPS là công việc không mấy khó khăn. Do đó một trong những chức năng chính của Hệ tọa độ động học là đảm bảo xác định độ cao chuẩn độ chính xác cao dựa trên dữ liệu đo đạc trong lực chi tiết và GPS thống nhất trên phạm vi cả nước. Chức năng nêu trên sẽ xác định số lượng các hạng của các mạng lưới GPS; mật độ các điểm GPS và độ chính xác các thành phần của mạng lưới GPS trong từng hạng.

Khi liên kết các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học với mạng lưới IGS, chúng ta sẽ được thừa hưởng các thành quả nghiên cứu các hiện tượng địa động học toàn cầu bao gồm quỹ đạo vệ tinh chính xác được hiệu chỉnh bởi sự quay không đồng đều của Quả đất và sự chuyển động của cực Quả đất; kết quả định vị ellipsoid GRS-1980 chính xác vào tâm vật chất của Quả đất trong quá trình xây dựng ITRF-yy. Ngoài ra, chúng ta thường xuyên nhận được các dịch vụ của Tổ chức IGS để hiệu chỉnh các kết quả đo GPS trong các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ động học Quốc gia. Các dạng dịch vụ nhận được từ Tổ chức IGS đã trình bày ở §1.4, chương 1.

Với các phân tích nêu trên, mạng lưới GPS hạng AA là mạng lưới GPS độ chính xác cao nhất liên kết với các điểm của mạng lưới IGS hoặc thậm trí là một phần của mạng lưới IGS. Tiếp theo, từ mạng lưới GPS hạng AA phát triển các mạng lưới GPS cấp hạng thấp hơn A, B, C, D,... Số lượng các hạng của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học được xác định khi tính đến các yếu tố sau:

- Đảm bảo độ chính xác truyền độ cao trắc địa với độ chính xác ở mức 5 cm từ mạng lưới GPS hạng AA cho đến mạng lưới GPS hạng thấp nhất;

- Đảm bảo cho việc áp dụng các thiết bị đo động (RTK, PPK) để đo đặc chi tiết từ các điểm của mạng lưới GPS hạng thấp nhất;

- Đảm bảo tính độ cao Kvazigeoid của điểm cần xác định trên khoảng cách bất kỳ theo phương pháp nội suy dựa trên dữ liệu trọng lực chi tiết.

Mật độ các điểm trong mạng lưới GPS trong một hạng xác định được lựa chọn dựa theo chức năng của mạng lưới đó. Khoảng cách dài nhất ( $S_{max}$ ) và khoảng cách ngắn nhất ( $S_{min}$ ) giữa các điểm trong mạng lưới GPS được xác định dựa trên yêu cầu đồng độ chính xác của các vector baseline tạo nên mạng lưới đó.

Việc đảm bảo sự như nhau của các sai số trung phương vị trí mặt bằng tương hỗ và hiệu độ cao trắc địa giữa các điểm trong các mạng lưới GPS các cấp hạng là một yêu cầu kỹ thuật quan trọng cần tính đến. Yêu cầu này cho phép lựa chọn mức độ chính xác của lịch vệ tinh cần thiết để xử lý dữ liệu đo GPS trong từng hạng của mạng lưới GPS.

Việc sử dụng các kết quả bình sai các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học để làm chính xác hoá Hệ tọa độ Quốc gia được xây dựng theo các phương pháp truyền thống là một bài toán khoa học - kỹ thuật quan trọng đảm bảo sự liên kết giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia.

Các vấn đề khoa học - kỹ thuật nêu trên sẽ được xem xét giải quyết trong chương này và các chương 4, 5.

### **§3.2. Khảo sát yêu cầu độ chính xác xác định độ cao chuẩn các cấp hạng và nghiên cứu khả năng xác định độ cao chuẩn bằng công nghệ GPS [87].**

Thông thường khi nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn trong Hệ độ cao Quốc gia, người ta thường có thiên hướng khảo sát sai số trung phương của chênh cao chuẩn trên một km dựa trên sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa được xác định theo công nghệ GPS và sai số trung phương hiệu độ cao được đánh giá theo mô hình geoid được sử dụng. Tiếp theo so sánh sai số trung phương của chênh cao chuẩn trên một km nhận được với các tiêu chuẩn của nó trong Quy phạm thuỷ chuẩn để xác định cấp hạng của độ cao chuẩn đạt được nhờ công nghệ GPS. Nếu chỉ đơn thuần như vậy, cách tiệm cận như trên có thể sẽ dẫn đến các kết luận sai lầm, bởi vì nó không trả lời được câu hỏi: có thể đạt được độ chính xác của độ cao chuẩn theo cấp hạng đã xác định nhờ công nghệ GPS trên khoảng cách đến bao nhiêu giữa hai trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS ?.

Để trả lời được câu hỏi trên, chúng ta cần giải quyết thêm một vấn đề nữa: Xác định độ chính xác cho phép của độ cao chuẩn theo các cấp hạng thuỷ chuẩn. Vấn đề này hiện nay ít được đề cập đến trong các công trình nghiên cứu của nhiều tác giả trong và ngoài nước.

Trước tiên, chúng ta sẽ xác định sai số trung phương độ cao chuẩn của mốc yếu nhất trong tuyến thuỷ chuẩn hạng I. Dựa theo tài liệu [52], sai số trung phương cho phép  $\tau$  của chênh cao trên 1 km thuỷ chuẩn được thể hiện ở bảng dưới đây.

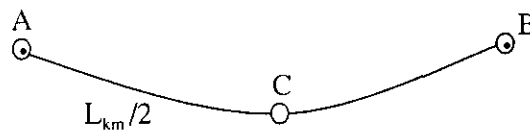
Bảng 3.1

| Hạng | $\tau(\text{mm})$ |
|------|-------------------|
| I    | 2                 |
| II   | 5                 |
| III  | 10                |
| IV   | 20                |

Sai số trung phương của chênh cao đo trên tuyến thuỷ chuẩn dài  $L_{km}$  được đánh giá theo công thức:

$$m_h = \tau \cdot \sqrt{L_{km}} \quad (3.1)$$

Nếu tuyến thuỷ chuẩn tạo thành một đa giác kín có 1 điểm gốc ở hạng cao hơn hoặc tựa trên 2 mốc đầu là 2 điểm gốc ở hạng cao hơn, thì mốc yếu nhất nằm ở khoảng cách  $L_{km}/2$  cách một điểm gốc nào đó.



ở hình vẽ trên, các mốc A và B là các mốc hạng cao  $i$ ; C là mốc yếu nhất trên tuyến thuỷ chuẩn hạng  $i+1$  thấp hơn.

Trong trường hợp này, do độ chính xác của chênh cao sau bình sai được nâng lên  $\sqrt{2}$  lần, nên từ (3.1) suy ra:

$$\tilde{m}_h = \frac{m_h}{\sqrt{2}} = \frac{\tau}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{L_{km}/2} = \frac{\tau}{2} \cdot \sqrt{L_{km}},$$

ở đây  $\tilde{m}_h$  - sai số của chênh cao đoạn AC sau bình sai.

Như vậy, sai số trung phương cho phép của độ cao mốc yếu nhất trong tuyến thuỷ chuẩn hạng  $i+1$  được đánh giá theo công thức sau:

$$m_{H,i}^2 = \sqrt{m_{H,i}^2 + \frac{\tau^2}{4} \cdot L_{km}}, \quad (3.2)$$

ở đây  $m_{H,i}$  - sai số trung phương cho phép của độ cao mốc yếu nhất trong tuyến thuỷ chuẩn hạng i cao hơn.

Theo tài liệu [51], chiều dài cho phép của tuyến thuỷ chuẩn hạng I là 1200km đối với khu vực miền núi và 2000km đối với khu vực đồng bằng. Đối với tuyến thuỷ chuẩn hạng I treo với chiều dài  $L = 2000\text{km}$ , từ (3.1) chúng ta có giá trị sai số trung phương độ cao mốc yếu nhất:

$$m_{H,i} = 2^{\text{mm}} \cdot \sqrt{2000\text{km}} = 90^{\text{mm}}.$$

Trong trường hợp này, để nâng cao độ chính xác của tuyến thuỷ chuẩn hạng I, người ta tiến hành bình sai hỗn hợp các lưới thuỷ chuẩn hạng I và hạng II. Do độ chính xác của chênh cao sau bình sai được nâng lên  $\sqrt{2}$  lần, nên sai số trung phương cho phép của độ cao mốc hạng I yếu nhất so với gốc độ cao Quốc gia được đánh giá theo công thức:

$$m_{H,i} = 90^{\text{mm}} / \sqrt{2} = 64^{\text{mm}}. \quad (3.3)$$

Trong kết quả bình sai mạng lưới thuỷ chuẩn hạng I, II Quốc gia, mốc hạng I VL - HT 284 A có sai số trung phương độ cao lớn nhất và bằng  $69^{\text{mm}}$ . Để thống nhất giữa các tính toán lý thuyết và thực tế và để phục vụ cho các tính toán tiếp theo, chúng ta chấp nhận giá trị sai số trung phương cho phép của mốc độ cao hạng I yếu nhất bằng:

$$m_{H,i} = 69\text{mm}. \quad (3.4)$$

Chiều dài cho phép của các tuyến thuỷ chuẩn các hạng II, III và IV giữa 2 mốc độ cao hạng cao hơn được thể hiện ở bảng dưới đây [52]:

Bảng 3.2

| Hạng | $L_{KM}$  |          |
|------|-----------|----------|
|      | Đồng bằng | Miền núi |
| II   | 500       | 270      |
| III  | 200       | 70       |
| IV   | 100       | 20       |

Dựa trên các bảng 3.1, 3.2 và công thức (3.2) chúng ta đánh giá sai số trung phương độ cao cho phép của mốc hạng II yếu nhất so với điểm gốc Quốc gia và nhận được giá trị:

$$m_{II,i} = 79\text{mm}. \quad (3.5)$$

Trong kết quả bình sai mạng lưới thuỷ chuẩn hạng I, II Quốc gia, mốc hạng II SC-PL 1 A có sai số trung phương độ cao lớn nhất và bằng  $72^{\text{mm}}$ . Như vậy các đánh giá sai số trung phương cho phép của các mốc hạng I và hạng II cho trong (3.3) và (3.4) là tương đối phù hợp, đặc biệt đối với lưới thuỷ chuẩn hạng II.

Từ các bảng 3.1, 3.2 và công thức (3.2) sẽ nhận được các giá trị của các sai số trung phương cho phép của các mốc độ cao hạng III, hạng IV yếu nhất:

$$\begin{aligned} m_{H_{III}} &= 93\text{mm}; \\ m_{H_{IV}} &= 117\text{mm}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Theo tài liệu [53], đối với tuyến thuỷ chuẩn kỹ thuật sai số trung phương cho phép của chênh cao trên 1 km thuỷ chuẩn bằng

$$\tau_{KT} = 50\text{mm}. \quad (3.7)$$

Chiều dài cho phép của tuyến thuỷ chuẩn kỹ thuật phụ thuộc vào khoảng cao đều của bản đồ địa hình cần thành lập. Khi tuyến thuỷ chuẩn kỹ thuật giữa 2 mốc độ cao hạng IV, theo [53], khi khoảng cao đều  $h = 0,5^{\text{m}}$ :  $L_{km} = 8\text{km}$ ; khi  $h \geq 1^{\text{m}}$ :  $L_{km} = 16\text{km}$ . Từ (3.2), (3.6) và (3.7) chúng ta có:

$$\text{khi } h = 0,5\text{m: } m_{KT} = 127\text{mm}; \text{ Khi } h \geq 1\text{m: } m_{KT} = 137\text{mm}, \quad (3.8)$$

ở đây  $m_{KT}$  - sai số trung phương cho phép của độ cao chuẩn của điểm thuỷ chuẩn kỹ thuật.

Đối với tuyến thuỷ chuẩn kỹ thuật treo, theo [53], khi  $h = 0,5 \text{ m}$ :  $L_{km} = 2\text{km}$ ; khi  $h \geq 1\text{m}$ :  $L_{km} = 4\text{km}$ . Khi đó:

$$\text{với } h = 0,5 \text{ m: } m_{KT} = 137\text{mm}; \text{ với } h \geq 1 \text{ m: } m_{KT} = 154\text{mm}. \quad (3.9)$$

Để tính toán tiếp theo, khi so sánh (3.8) và (3.9) chúng ta chọn chỉ tiêu (3.9).

Khi đo đạc chi tiết bằng các thiết bị đo đạc truyền thống, độ chính xác của chênh cao giữa điểm trạm máy và điểm chi tiết (điểm mìa) tương đương với độ chính xác thuỷ chuẩn lượng giác. Do đó sai số trung phương cho phép của độ cao điểm chi tiết so với điểm gốc độ cao Quốc gia được đánh giá theo công thức:

$$m_{CT} = \sqrt{m_{KT}^2 + (100\text{mm})^2 \cdot S_{km}}, \quad (3.10)$$

ở đây  $S_{km}$  - khoảng cách cho phép giữa trạm máy và điểm mìa được xác định phụ thuộc vào tỷ lệ bản đồ cần thành lập.

Dựa trên (3.8), (3.9) và (3.10) chúng ta có bảng sau:

Bảng 3.3

| Tỷ lệ bản đồ | Khoảng cao đều | $S_{km}$ | $M_{ct}$ (mm) |
|--------------|----------------|----------|---------------|
| 1:500        | 0,5            | 0,1      | 141           |
| 1:1000       | 0,5            | 0,15     | 142           |
|              | 1,0            | 0,20     | 160           |
| 1:2000       | 1,0            | 0,25     | 162           |
|              | 2,0            | 0,30     | 163           |
| 1:5000       | 2,0            | 0,35     | 165           |

Các sai số trung phương cho phép của độ cao chuẩn điểm chi tiết được cho trong bảng 3.3 chỉ phản ánh các sai số nhận được do kết quả đo đạc chi tiết.

Cần thiết nhấn mạnh ở đây rằng do các bản đồ địa hình từ tỷ lệ 1:1000 cho đến 1:5000 có thể được thành lập từ các bản đồ địa hình tỷ lệ lớn hơn, ngoài ra còn do các sai số biên tập đường bình độ và nội suy độ cao theo các đường bình độ, sai số độ cao theo các đường bình độ được xác định trên bản đồ được đánh giá bằng khoảng  $1/3 \div 1/5$  khoảng cao đều. Giá trị đánh giá này chỉ có ý nghĩa trong việc xác định mục đích sử dụng các độ cao được xác định trên bản đồ địa hình chứ không có ý nghĩa trong việc thiết kế đo đạc trắc địa.

Khi biết độ chính xác của độ cao trắc địa được xác định bằng công nghệ GPS trên điểm trắc địa, từ việc xác định sai số trung phương cho phép của các độ cao hạng I, II, III và IV có thể xác định được các sai số trung phương cho phép của dị thường độ cao trên điểm đó. Điều này cho phép giải quyết bài toán đánh giá độ chính xác của dị thường độ cao của điểm cần xác định nhờ phương pháp nội suy dựa theo dữ liệu đo trọng lực chi tiết từ 2 điểm trắc địa thuộc Hệ toạ độ động học.

Các giá trị sai số trung phương cho phép của các điểm chi tiết được cho trong bảng 3.3 sẽ giúp cho việc thiết kế đo đạc chi tiết bằng các thiết bị đo GPS động từ các điểm thuộc Hệ toạ độ động học.

Giả thiết bằng công nghệ GPS và sử dụng mô hình Geoid (hoặc Kvazigeoid) cụ thể xác định được sai số trung phương  $\tau$  của chênh cao chuẩn trên 1km. Nảy sinh bài toán xác định chiều dài baseline cho phép giữa 2 điểm GPS khi cho trước sai số trung phương cho phép của các độ cao chuẩn của các điểm này theo các hạng. Gọi  $m_{H_1}$  - sai số trung phương cho phép của độ cao chuẩn ở hạng cao hơn của điểm đầu baseline;  $m_{H_2}$  - sai số trung phương cho phép

của độ cao chuẩn ở hạng thấp hơn của điểm cuối baseline. Khi đó chiều dài baseline cho phép được xác định theo công thức sau:

$$(L_{km})_{cp} = \frac{m_{H_2}^2 - m_{H_1}^2}{\tau^2} \quad (3.11)$$

dựa trên cơ sở đánh giá cho tuyến thủy chuẩn treo.

Dựa trên các sai số trung phương cho phép của các độ cao chuẩn theo các hạng được xác định ở trên, bảng 3.1 và công thức (3.11) chúng ta có bảng sau:

Bảng 3.4

| Sai số trung phương $m_{H_1}$ ở hạng | Sai số trung phương $m_{H_2}$ hạng | $\tau$ (mm) | $(L_{km})_{cp}$ (km) |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------|
| I                                    | II                                 | 4           | 81                   |
|                                      | III                                | 10          | 64                   |
|                                      | IV                                 | 20          | 36                   |
| II                                   | III                                | 10          | 49                   |
|                                      | IV                                 | 20          | 36                   |
| III                                  | IV                                 | 20          | 25                   |

Bảng 3.4 cho thấy một thực tế rằng độ chính xác của độ cao chuẩn ở hạng nhất định được xác định dựa trên công nghệ GPS và sử dụng mô hình Kvazigeoid cụ thể chỉ có thể đạt được trên khoảng cách nhất định.

Tuy nhiên kết luận trên chỉ đúng khi sử dụng lịch vệ tinh phát tín để xử lý dữ liệu đo GPS. Khi đó độ chính xác của các thành phần của vectơ baseline phụ thuộc vào khoảng cách. Tuy nhiên những tiến bộ mới trong việc phát triển công nghệ GPS, đặc biệt khi sử dụng các dịch vụ của Tổ chức IGS, độ chính xác xác định hiệu độ cao trắc địa luôn cao hơn 10 mm và thực tế không phụ thuộc vào khoảng cách [36,62]. Ngoài ra, phương pháp nội suy dị thường độ cao từ 2 điểm đã biết dị thường độ cao dựa trên dữ liệu đo trọng lực chi tiết cho phép nhận được độ cao chuẩn giữa một trong các điểm nêu trên và điểm cần xác định trên khoảng cách 400-500km với độ chính xác ở mức 3-5cm [2]. Đây là những vấn đề mới mở ra khả năng truyền độ cao chuẩn độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn dựa trên việc ứng dụng công nghệ GPS và sử dụng các dữ liệu trọng lực đo chi tiết. Các vấn đề này tạo nên một trong những nhiệm vụ quan trọng của việc xây dựng Hệ toạ độ động học: đảm bảo cơ sở khoa học- kỹ thuật để giải quyết bài toán xác định một cách tin cậy độ cao chuẩn với độ chính xác xác định bằng công nghệ GPS.

**§3.3. Nghiên cứu khả năng xác định di thường độ cao và độ cao chuẩn nhờ các mạng lưới GPS các cấp hạng trong Hệ toạ độ động học.**

Nếu bằng phương pháp thuỷ chuẩn hình học xác định độ cao chuẩn hạng I, II, III và IV của các điểm GPS thuộc Hệ toạ độ động học, thì độ chính xác cho phép của di thường độ cao

$$\zeta = H - H^y, \quad (3.12)$$

ở đây H - độ cao trắc địa của điểm GPS;  $H^y$  - độ cao chuẩn của điểm đó, được xác định theo công thức

$$m_\zeta = \sqrt{m_H^2 + m_{H^y}^2}. \quad (3.13)$$

Khi nhận  $m_H = 5\text{cm}$  và từ kết quả nghiên cứu ở mục §3.2, dựa trên công thức (3.13) chúng ta có bảng sau:

Bảng 3.5

| Hạng của độ cao chuẩn trên các điểm GPS | Sai số trung phương cho phép của di thường độ cao (m) |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| I                                       | 0,085                                                 |
| II                                      | 0,093                                                 |
| III                                     | 0,106                                                 |
| IV                                      | 0,127                                                 |

Bảng 3.5 cho thấy một thực tế là trong trường hợp đo nối thuỷ chuẩn Quốc gia vào các điểm GPS thuộc Hệ toạ độ động học, các di thường độ cao được xác định theo công thức (3.12) có sai số trung phương không lớn hơn 0,127m thống nhất trên toàn lãnh thổ Quốc gia. Đây là tiến bộ vượt bậc đạt được nhờ việc xây dựng Hệ toạ độ động học Quốc gia dựa trên việc kết nối với mạng lưới IGS và sử dụng các dịch vụ của Tổ chức IGS để xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn. Để so sánh, chúng ta hồi tưởng lại việc sử dụng phương pháp thuỷ chuẩn thiên văn - trọng lực để truyền di thường độ cao từ điểm gốc của Hệ toạ độ Quốc gia ra khoảng cách lớn. Khi đó sai số trung phương của di thường độ cao được đánh giá theo công thức [7]:  $m_e = 3\text{cm} \cdot \sqrt{L_{\text{km}}}$ . Với  $L = 1600\text{km}$ :  $m_e = 1,2\text{m}$ . Độ chính xác này tồi hơn rất nhiều so với kết quả trình bày ở bảng 3.5.

Từ bảng 2.5 nhận thấy rằng với việc sử dụng độ cao trắc địa độ chính xác cao (ở mức 5cm) của các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học và mô hình Kvazigeoid độ chính xác ở mức 85mm hoặc ở mức 93mm hoàn toàn có thể xác định độ cao chuẩn hạng III hoặc hạng IV bằng công nghệ GPS.

Chúng ta tạm thời thừa nhận một thực tế là độ chính xác của độ cao trắc địa của tất cả các điểm GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học đều ở mức 5 cm. Vấn đề này sẽ được chứng minh ở mục §3.4. Bây giờ giả thiết rằng tiến hành đo các điểm chi tiết bằng các thiết bị đo động bằng công nghệ GPS từ các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học. Khi đó từ Phụ lục 1 có thể thấy rằng sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa điểm GPS trong Hệ tọa độ động học và điểm chi tiết được đánh giá theo công thức sau:

$$M_{\Delta H} = \pm 2 \text{ cm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot S.$$

Trên các khoảng cách 5 km, 10 km, giá trị  $M_{\Delta H}$  đạt cỡ 3 cm, 4 cm. Như vậy tương ứng với các khoảng cách nêu trên, độ chính xác độ cao trắc địa  $m_H$  của điểm chi tiết đạt cỡ 5.8 cm, 6.4 cm.

Chúng ta coi độ chính xác của độ cao trắc địa của các điểm chi tiết ở mức 6 cm. Vấn đề tiếp theo là xác định độ chính xác của mô hình Kvazigeoid để đảm bảo việc thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn bằng công nghệ GPS.

Từ công thức xác định độ cao chuẩn:

$$H' = H - \varepsilon.$$

suy ra công thức đánh giá sai số trung phương của độ cao chuẩn  $H'$ :

$$m_{H'} = \sqrt{m_H^2 + m_\varepsilon^2},$$

hay

$$m_\varepsilon = \sqrt{m_{H'}^2 - m_H^2}. \quad (3.14)$$

Từ bảng 3.3 và công thức (3.14) có thể thấy rằng để nhận được độ cao chuẩn của điểm chi tiết bằng phương pháp đo GPS động với độ chính xác đáp ứng các yêu cầu của các bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 500 – 1: 5000 cần sử dụng mô hình Kvazigeoid với sai số trung phương  $m_\varepsilon$  được trình bày ở bảng dưới đây.

| Tỷ lệ<br>bản đồ địa hình | Khoảng cao đều<br>( m ) | $m_z$ (m) |
|--------------------------|-------------------------|-----------|
| 1: 500                   | 0,5                     | 0,128     |
| 1: 1000                  | 0,5                     | 0,129     |
|                          | 1,0                     | 0,148     |
| 1: 2000                  | 1,0                     | 0,150     |
|                          | 2,0                     | 0,152     |
| 1: 5000                  | 2,0                     | 0,154     |

Từ bảng trên có thể kết luận rằng nếu nhờ Hệ tọa độ động học xây dựng được mô hình Kvazigeoid với độ chính xác ở mức 0,128m thì Hệ tọa độ động học sẽ đảm bảo cho việc áp dụng các thiết bị đo GPS động để thành lập bản đồ địa hình ở các tỷ lệ lớn. Như vậy độ chính xác của độ cao Kvazigeoid của các điểm GPS ở hạng thấp nhất trong Hệ tọa độ động học cần đạt được ở mức 0,128m. Vấn đề sử dụng đồng bộ các dữ liệu đo đạc GPS, trọng lực, thủy chuẩn hình học để xây dựng mô hình Kvazigeoid với sai số trung phương của dị thường độ cao không lớn hơn 0,128m là một trong những mục tiêu cơ bản của việc xây dựng Hệ tọa độ động học quốc gia và là một trong những mục tiêu nghiên cứu của đề tài này.

Trong mục §3.4 chúng ta sẽ chứng minh được rằng độ cao trắc địa của tất cả các điểm GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học đều có độ chính xác ở mức 5cm. Đến đây nảy sinh một vấn đề khoa học-kỹ thuật: xác định độ chính xác của mô hình độ cao Kvazigeoid được xác định hoàn toàn bằng phương pháp trọng lực (mô hình Kvazigeoid trọng lực) để nhận được độ cao chuẩn các hạng thủy chuẩn Nhà nước của các điểm GPS.

Dựa trên công thức (3.14) và các sai số trung phương cho phép của các độ cao chuẩn hạng I,II,III, IV, thủy chuẩn kỹ thuật đã xác định ở mục §3.2 chúng ta có bảng sau.

Bảng 3.6

| Hạng và cấp của độ cao chuẩn trên các điểm GPS | Sai số trung phương cho phép của dị thường độ cao (m) |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| I                                              | 0,048                                                 |
| II                                             | 0,061                                                 |
| III                                            | 0,078                                                 |
| IV                                             | 0,106                                                 |
| Thủy chuẩn kỹ thuật                            |                                                       |
| - khoảng cao đều 0,5 m                         | 0,128                                                 |
| - khoảng cao đều 1 m                           | 0,146                                                 |

Bảng trên cho thấy rằng để xác định độ cao chuẩn các hạng Nhà nước I,II,III và IV trên cơ sở sử dụng công nghệ GPS và mô hình Kvazigeoid trọng lực, yêu cầu độ chính xác của mô hình Kvazigeoid trọng lực khá cao.

Trong thực tế hiện nay việc xây dựng mô hình Kvazigeoid bằng phương pháp trọng lực với mức độ chính xác 3 cm đang đòi hỏi sự nỗ lực hơn nữa của các nhà trắc địa.

Độ chính xác cao của dị thường độ cao hoàn toàn có thể đạt được nhờ việc đo đặc trọng lực độ chính xác cao. Theo [2], độ chính xác của máy đo trọng lực ballistic đã ở mức  $\pm 5$  microgal. Các thiết bị loại này được sử dụng để xây dựng mạng lưới trọng lực cơ sở. ở liên bang Nga, bằng các máy trọng lực con lắc đã xây dựng mạng lưới trọng lực hạng I hơn 1200 điểm. Sai số của hiệu gia tốc lực trọng trường ở các điểm này đạt mức  $\pm 30-50$  microgal. Nếu ở mức độ chính xác này liên kết các kết quả đo trọng lực chi tiết với mạng lưới trọng lực hạng I thì hoàn toàn có thể xác định được dị thường độ cao với sai số trung phương  $\pm 5-10$  cm.

Do đó hoàn toàn hiện thực khi đặt mục tiêu sử dụng Hệ tọa độ động học và mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao được xác định bằng phương pháp trọng lực để xác định độ cao chuẩn với độ chính xác hạng I,II, III, IV Nhà nước. Tuy nhiên việc xây dựng mô hình Kvazigeoid trọng lực không thuộc phạm vi nghiên cứu của đề tài này.

#### **\$3.4. Đánh giá ước tính độ chính xác hiệu độ cao trắc địa nhân được bằng công nghệ GPS trên các khoảng cách khác nhau [ 84].**

Một vấn đề quan trọng cần nghiên cứu là việc đảm bảo sự bảo toàn độ chính xác cao của độ cao trắc địa ở mức 5cm khi truyền độ cao trắc địa từ mạng lưới GPS hạng cao nhất đến mạng lưới GPS hạng thấp nhất trong Hệ tọa độ động học. Sự bảo toàn này tạo cơ sở cho việc đánh giá độ chính xác của độ cao chuẩn của các điểm chi tiết được xác định theo các phương pháp đo động bằng công nghệ GPS. Vấn đề nêu trên sẽ được xem xét dựa trên đánh giá ước tính độ chính xác truyền hiệu độ cao trắc địa từ mạng lưới GPS hạng cao đến mạng lưới GPS hạng thấp hơn, thêm vào đó các giá trị hiệu độ cao trắc địa được sử dụng là các giá trị nhận được sau khi bình sai mạng lưới GPS. Để đánh giá ước tính giả thiết rằng mạng lưới GPS trong một cấp hạng xác định có dạng là một đa giác với 1 điểm cứng (là điểm GPS thuộc cấp hạng cao hơn), trong đó từ 1 điểm có  $\alpha$

baselines đến các điểm còn lại, thêm vào đó các thành phần  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  của 1 baseline cùng độ chính xác, tức

$$m_{\Delta X} = m_{\Delta Y} = m_{\Delta Z} = m. \quad (3.15)$$

và giá trị  $m$  là như nhau đối với tất cả các baselines trong mạng lưới GPS.

Với giả thiết trên, dựa vào [79], sai số trung phương độ cao trắc địa  $m_H$  của 1 điểm bất kỳ, tức sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa  $m_{\Delta H}$  giữa điểm cứng và điểm đó, nhận được sau bình sai có dạng:

$$m_{\Delta H} = m_H = \frac{\mu \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\alpha + 1}}. \quad (3.16)$$

Khi bình sai mạng lưới GPS nhận các thành phần  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  của các baselines làm các trị đo. Giả sử chọn  $\Delta X$  làm đơn vị trọng số. Sai số trung phương của nó sau bình sai mạng lưới GPS là  $\mu$ . Khi đó, lưu ý (3.15) và chấp nhận giả thiết rằng độ chính xác của thành phần  $\Delta X$  sau bình sai tăng lên  $\sqrt{2}$  lần, chúng ta có:

$$\mu = m/\sqrt{2}. \quad (3.17)$$

Thay (3.17) vào (3.16) suy ra:

$$m_{\Delta H} = \frac{m}{\sqrt{\alpha + 1}}. \quad (3.18)$$

Khi lưu ý điều kiện (3.15), sai số trung phương cạnh

$$m_S = [m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2 + m_{\Delta Z}^2]^{1/2} = \sqrt{3} \cdot m.$$

Khi đó công thức (3.18) có dạng mới:

$$m_{\Delta H} = \frac{m_S}{\sqrt{3(\alpha + 1)}}. \quad (3.19)$$

Khi truyền độ cao trắc địa từ 1 điểm GPS hạng cao đến các điểm GPS hạng thấp hơn nhờ mạng lưới GPS, trong trường hợp tối nhất mạng lưới GPS là 1 tam giác có 1 đỉnh là điểm GPS hạng cao và 2 điểm còn lại là 2 điểm GPS hạng thấp hơn cần xác định. Khi đó  $\alpha = 2$  và từ (3.19) suy ra:

$$m_{\Delta H} = \frac{m_S}{3}. \quad (3.20)$$

Công thức (3.20) sẽ được sử dụng để đánh giá ước tính độ chính xác của hiệu độ cao trắc địa khi truyền độ cao trắc địa từ điểm GPS hạng cao hơn đến

điểm GPS hạng thấp hơn bằng mạng lưới GPS có dạng tam giác (đối với trường hợp tối nhất).

Chúng ta có thể tính chính xác khoảng cách từ máy thu đến vệ tinh vào từng thời điểm thu tín hiệu vệ tinh nhờ sử dụng các số cải chính đồng hồ vệ tinh, tầng đối lưu do tổ chức IGS cung cấp (xem trong §1.4). Số cải chính do ảnh hưởng của tầng điện ly có thể được xác định dựa trên kết quả tính đại lượng  $k.TEC$  theo các sóng dải rộng và dải hẹp. Các số cải chính đồng hồ máy thu có thể xác định dựa vào các hiệu phase đơn. Do đó ở đây chúng ta chỉ xem xét ảnh hưởng của độ chính xác lịch vệ tinh đến độ chính xác của chiều dài baseline. Các mức độ chính xác lịch vệ tinh do tổ chức IGS cung cấp được trình bày trong bảng 1.2, chương 1. Gọi  $S$  là chiều dài giữa điểm GPS hạng cao và điểm GPS cần xác định hạng thấp hơn. Khi đó các giá trị của sai số trung phương  $m_s$  của các chiều dài baseline được tính theo các mức độ chính xác của lịch vệ tinh được cho trong bảng 1.3, chương 1.

Dựa vào bảng 1.3 và từ công thức (3.20) sẽ tiến hành đánh giá ước tính độ chính xác truyền độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS từ điểm GPS hạng cao đến điểm GPS hạng thấp hơn trên các khoảng cách  $S$  khác nhau. Kết quả đánh giá được trình bày ở bảng dưới đây.

| $S$ (km)   | Mức độ chính xác lịch vệ tinh | $m_{\Delta H}$ (mm) |
|------------|-------------------------------|---------------------|
| 900 ÷ 1000 | 1                             | 0.7 – 0.8           |
|            | 2                             | 1.5 – 2.5           |
| 600 ÷ 800  | 1                             | 0.5 – 0.7           |
|            | 2                             | 1 – 1.3             |
| 300 ÷ 500  | 1                             | 0.4                 |
|            | 2                             | 0.5 – 0.8           |
| 80 ÷ 100   | 1                             | 0.1                 |
| 50 ÷ 70    | 2                             | 0.1                 |
| 20 ÷ 40    | 2                             | 0.1                 |

Từ bảng trên có thể nhận thấy rằng khi sử dụng lịch vệ tinh với các mức độ chính xác khác nhau, chúng ta có thể giữ được độ chính xác của hiệu độ cao trắc địa nằm trong khoảng 0.1 ÷ 2.5mm trên khoảng cách đến 1000km. Tất nhiên để đạt được độ chính xác nêu trên cần phải áp dụng hàng loạt biện pháp kỹ thuật trong quá trình đo đạc và xử lý dữ liệu đo GPS như lựa chọn góc ngưỡng vệ

tính hợp lý, sử dụng lịch vệ tinh chính xác và các dữ liệu địa vật lý do Tổ chức IGS cung cấp v.v. Các vấn đề này sẽ được xem xét trong các chương tiếp theo của Báo cáo đề tài này.

Để tính toán tiếp theo, chúng ta nhận sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa 2 cấp hạng lưới GPS kề nhau bằng  $m_{\Delta H} = 1.3\text{mm} = 0.13\text{cm}$ . Nếu mạng lưới GPS độ chính xác cao nhất (tạm gọi là mạng lưới GPS hạng A) được xây dựng dựa trên ITRF-yy, ở đây yy là năm xác định khung qui chiếu Quả đất quốc tế thì độ chính xác độ cao trắc địa của các điểm GPS thuộc mạng lưới này ở mức 5cm. Với k hạng mạng lưới GPS được xây dựng, độ chính xác độ cao trắc địa của mạng lưới GPS cấp hạng thấp nhất được xác định theo công thức:

$$m_H = [25 + 0,0169 \cdot k]^{\frac{1}{2}}.$$

Nếu  $k \leq 10$  thì  $m_H = 5\text{cm}$ . Như vậy với việc sử dụng qui trình đo đạc GPS hoàn thiện, sử dụng phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS hiện đại và sử dụng lịch vệ tinh có độ chính xác cao nhất được xác định trong ITRF-yy hoàn toàn đảm bảo để độ cao trắc địa của tất cả các điểm trong các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ động học đều có độ chính xác ở mức 5 cm. Do đó các kết quả nghiên cứu trong mục này một lần nữa xác nhận một thực tế là việc xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học với các điểm GPS có độ cao trắc địa độ chính xác cao tạo nên một trong những cơ sở quan trọng để xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao khi tính đến cả dữ liệu trọng lực và thủy chuẩn hình học, đồng thời qua đó cho phép giải quyết được vấn đề xác định độ cao chuẩn ở cấp hạng cho trước theo yêu cầu của công tác đo đạc – bản đồ.

Việc đảm bảo cơ sở cho việc sử dụng phương pháp thủy chuẩn vệ tinh để xác định độ cao chuẩn là một trong những nhiệm vụ cơ bản của việc xây dựng hệ tọa độ động học. Trong các Quy phạm xây dựng các mạng lưới GPS ở các nước, chỉ có Liên bang Nga đề cập đến vấn đề này. Các nước khác như Trung Quốc, Australia, New Zeland ... xây dựng các mạng lưới GPS chủ yếu hướng tới việc đảm bảo sử dụng các thiết bị thu tín hiệu vệ tinh khác nhau trong công tác đo đạc – bản đồ. Trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học này đặt ra mục tiêu xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia Việt Nam để đáp ứng các chức năng được đặt ra trong mục \$1.5.

### **\$3.5. Kết luận chương 3.**

Các kết quả nghiên cứu trong chương này cho phép làm một số kết luận sau:

1. Các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học Quốc gia trong mối liên kết với mạng lưới IGS đảm bảo việc truyền độ cao trắc địa ra toàn lãnh thổ với độ chính xác ở mức 5cm;

2. Khi sử dụng đồng bộ các dữ liệu đo đạc GPS, trọng lực và thủy chuẩn Nhà nước, Hệ tọa độ động học đảm bảo việc xây dựng mô hình Kvazigeoid với sai số trung phương dị thường độ cao không lớn hơn 0,128m. Mô hình Kvazigeoid với độ chính xác nêu trên hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu xác định độ cao chuẩn của các điểm đo chi tiết dựa trên công nghệ đo GPS động để thành lập bản đồ địa hình các tỷ lệ lớn từ 1/500 đến 1/5000;

3. Số lượng các hạng của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học Quốc gia và tiêu chuẩn kỹ thuật của từng hạng sẽ được xây dựng dựa trên khả năng truyền dị thường độ cao từ hạng cao hơn xuống hạng thấp hơn bằng phương pháp nội suy trọng lực. Các vấn đề này sẽ được nghiên cứu trong các chương 4 và 5.

**CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU CƠ SỞ SỬ DỤNG CÁC DỮ LIỆU  
ĐO ĐẠC GPS, TRONG LỰC VÀ THUỶ CHUẨN NHÀ NƯỚC ĐỂ XÂY  
DUNG MÔ HÌNH KVAZIGEOID VÀ KIỂM SOÁT SỰ ỔN ĐỊNH CỦA  
HỆ ĐỘ CAO QUỐC GIA.**

**§4.1. Đánh giá độ chính xác truyền đi thường độ cao theo các  
phương pháp nội suy trọng lực.**

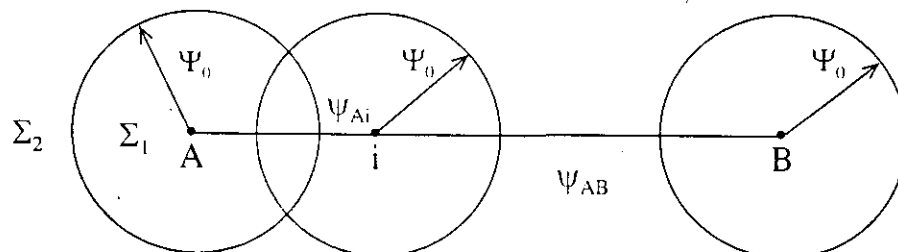
Trong chương này chúng ta sẽ xem xét các phương pháp nội suy để xác định dị thường độ cao của điểm xét từ các điểm cơ sở mà tại đó đã biết dị thường độ cao (được gọi là các điểm độ cao cơ sở). Cơ sở khoa học của việc ứng dụng các phương pháp này là sự sử dụng đồng bộ các dữ liệu đo GPS, trọng lực và thủy chuẩn Nhà nước. Dị thường độ cao của điểm độ cao cơ sở được xác định theo công thức:

$$\zeta = H - H^*,$$

ở đây  $H$  - độ cao trắc địa của điểm độ cao cơ sở nhận được từ kết quả bình sai mạng lưới GPS trong khung qui chiếu Quả đất ITRF-yy,  $H^*$  - độ cao chuẩn của điểm độ cao cơ sở nhận được từ kết quả đo nối thủy chuẩn Nhà nước vào các điểm GPS.

**§4.1.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp nội suy tuyến tính dị thường  
độ cao dựa trên dữ liệu trọng lực.**

Giả sử có hai điểm độ cao cơ sở A và B với các dị thường độ cao là  $\zeta^A$  và  $\zeta^B$  ở cách nhau một khoảng  $AB = \psi_{AB}$ . Gọi  $i$  là điểm cần được nội suy dị thường độ cao (điểm xét) từ các điểm cơ sở, nằm cách A một khoảng  $Ai = \psi_{Ai}$ . Giả thiết rằng trong phạm vi bán kính  $\psi_0$  xung quanh mỗi điểm xét  $i$  có số liệu trọng lực ở dạng các giá trị dị thường trọng lực.



Về mặt lý thuyết, độ cao Kvazigeoid của một điểm bất kỳ có thể được biểu diễn dưới dạng :

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2, \tag{4.1}$$

trong đó  $\zeta_1$  là thành phần do dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_1$  với bán kính  $\psi_0$  gây ra,  $\zeta_2$  là thành phần do dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_2$  còn lại trên bề mặt trái đất gây ra.

Độ cao Kvazigeoid  $\zeta^i$  tại điểm  $i$  có thể được xác định bằng cách nội suy tuyến tính từ hai điểm A, B theo công thức sau:

$$\zeta^i = \zeta_1^i + \tilde{\zeta}_2^i, \quad (4.2)$$

ở đây thành phần  $\zeta_1^i$  được xác định dựa trên cơ sở dữ liệu dị thường trọng lực vùng  $\Sigma_1$  với bán kính  $\psi_0$ , còn thành phần  $\tilde{\zeta}_2^i$  do dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_2$  còn lại trên bề mặt trái đất được xác định theo công thức:

$$\tilde{\zeta}_2^i = \left[ (\zeta^B - \zeta_1^B) - (\zeta^A - \zeta_1^A) \right] \frac{\psi_{Ai}}{\psi_{AB}}, \quad (4.3)$$

trong đó  $\zeta_1^A, \zeta_1^B$  - các thành phần được xác định dựa trên cơ sở dữ liệu dị thường trọng lực vùng  $\Sigma_1$  với bán kính  $\psi_0$  xung quanh các điểm A và B.

Chúng ta sẽ đánh giá sai số nội suy đại lượng  $\tilde{\zeta}_2^i$  theo công thức (4.3). Gọi  $\zeta_2^i$  là giá trị thực của thành phần thứ hai trong công thức (4.1) do dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_2$  còn lại trên bề mặt trái đất, tức phần bên ngoài vùng  $\Sigma_1$  với bán kính  $\psi_0$  xung quanh điểm  $i$ . Hiệu số giữa giá trị được nội suy  $\tilde{\zeta}_2^i$  và giá trị thực  $\zeta_2^i$  là đại lượng đặc trưng cho sai số nội suy độ cao Kvazigeoid tại điểm  $i$ .

Giá trị trung phương của đại lượng này được đánh giá theo công thức [92]:

$$M\left\{\left(\tilde{\zeta}_2^i\right)^2\right\} = \frac{R^2}{2} \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \cdot \overline{Q}_n(\psi_0) \cdot \left\{ \sum_{m=0}^n \left( \Delta \overline{C}_{nm}^2 + \overline{S}_{nm}^2 \right) \right\} \cdot \left\{ 1 - \frac{\psi_{Ai}}{\psi_{AB}} \left( 1 - \frac{\psi_{Ai}}{\psi_{AB}} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[ 1 - P_n(\cos \psi_{AB}) \right] - \left( 1 - \frac{\psi_{Ai}}{\psi_{AB}} \right) \cdot P_n(\cos \psi_{Ai}) - \frac{\psi_{Ai}}{\psi_{AB}} \cdot P_n(\cos \psi_{Bi}) \right\}. \quad (4.4)$$

Trong công thức (4.4)  $\Delta \overline{C}_{nm}$ ,  $\overline{S}_{nm}$  là các hệ số điều hoà chuẩn hoá bậc  $n$  cấp  $m$  của thế trọng trường trái đất;  $P_n$  là đa thức Legendre bậc  $n$ ;  $\overline{Q}_n(\psi_0)$  là hàm số chẵn bậc  $n$ , thêm vào đó

$$\overline{Q}_n(\psi_0) = \int_{\psi_0}^{\pi} [S(\psi) - S(\psi_0)] P_n(\cos \psi) \cdot \sin \psi \cdot d\psi \quad (4.5)$$

Từ công thức (4.4) chúng ta có thể nhận thấy rằng đại lượng  $M\{\zeta_2^i\}$  phụ thuộc vào thể trọng trường của trái đất thông qua các hệ số điều hoà  $\Delta\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ . Với các giá trị cụ thể của các hệ số này, đại lượng  $M\{\zeta_2^i\}$  sẽ phụ thuộc vào bán kính  $\psi_0$  của vùng có giá trị dị thường trọng lực xung quanh mỗi điểm xét, vào khoảng cách  $\psi_{AB}$  giữa hai điểm độ cao cơ sở A,B và vào vị trí điểm được nội suy  $i$  trên đoạn AB, tức là vào khoảng cách  $\psi_{Ai}$ . Khi điểm  $i$  trùng với A hoặc B thì  $M\{\zeta_2^i\} = 0$ , đúng như có thể dự đoán từ trước.

Để đánh giá thực nghiệm, chúng ta có thể sử dụng các giá trị hệ số điều hoà của thể trọng trường trái đất theo mô hình RAPP.181 và tiến hành tính toán theo công thức (IV.4) với các giá trị  $\psi_0, \psi_{AB}, \psi_{Ai}$  khác nhau. Kết quả tính toán cho thấy  $M\{\zeta_2^i\}$  có giá trị lớn nhất khi  $i$  nằm chính giữa đoạn AB. Các kết quả tính toán giá trị  $m_{\zeta_2^i} \sqrt{M\{\zeta_2^i\}}$  được phản ánh ở bảng dưới đây.

Giá trị  $m_{\zeta_2^i}$

Bảng 4.1

| $\psi_0 \backslash \psi_{AB}$ | $1^0$  | $2^0$  | $3^0$  | $4^0$  | $5^0$  | $6^0$  |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $0^0$                         | 0,64 m | 1,14 m | 1,55 m | 1,91 m | 2,22 m | 2,50 m |
| $2^0$                         | 0,05   | 0,14   | 0,27   | 0,44   | 0,64   | 0,88   |
| $4^0$                         | 0,03   | 0,09   | 0,17   | 0,27   | 0,41   | 0,56   |

Khi biểu diễn các giá trị  $m_{\zeta_2^i}$  cho trong bảng 4.1 lên đồ thị, chúng ta sẽ thấy rằng giá trị  $m_{\zeta_2^i} \leq 0,02m$  ứng với  $\psi_{AB} = 0^05$  và  $\psi_0 = 2^0$ .

Các giá trị ở dòng thứ nhất của bảng 4.1 ứng với  $\psi_0 = 0^0$ , tức là khi xung quanh các điểm xét không có số liệu trọng lực. Như đã thấy, trong trường hợp này sai số nội suy tuyến tính độ cao Kvazigeoid đạt trị số rất lớn.

Khi  $\psi_0 = 2^0$ , tức là khi trong phạm vi bán kính cỡ 200 km xung quanh điểm xét có số liệu trọng lực, thì có thể nội suy tuyến tính độ cao Kvazigeoid do dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_2$  gây ra với sai số 0,05 m từ hai điểm độ cao cơ sở ở cách nhau cỡ 100 km.

Để có được giá trị độ cao Kvazigeoid  $\zeta_i^i$  chúng ta còn phải tính  $\zeta_1^i$  thông qua số liệu dị thường trọng lực trong vùng  $\Sigma_1$  với bán kính  $\psi_0$ . Tương ứng, chúng ta phải tính đến sai số  $m_{\zeta_1^i}$ . Đại lượng này đã được đánh giá trong [90]

và có giá trị không vượt quá 0,03m, nếu  $\psi_0 = 200\text{km}$  và mật độ điểm trọng lực đó được bảo đảm là 1điểm/100km<sup>2</sup>. Cũng cần nhấn mạnh rằng việc tăng dày thêm mật độ điểm trọng lực không nâng cao thêm độ chính xác tính toán đại lượng  $\zeta_i$  [ 94 ].

Từ các kết quả phân tích nêu trên, chúng ta có thể thấy rằng độ chính xác của dị thường độ cao nội suy của điểm xét nằm ở giữa hai điểm độ cao cơ sở A và B cách nhau 100 km với mật độ điểm trọng lực 1 điểm/ 100 km<sup>2</sup> được đặc trưng bởi sai số trung phương:

$$m_{\zeta_i} = \sqrt{m^2 \zeta_i + m^2 \zeta_i} = \sqrt{(0,03\text{m})^2 + (0,05\text{m})^2} = 0,058\text{m} = 58\text{mm} .$$

Độ chính xác của dị thường độ cao nội suy của điểm xét nằm ở giữa hai điểm độ cao cơ sở A và B cách nhau cỡ 50 km với mật độ điểm trọng lực 1 điểm/ 100 km<sup>2</sup> được đặc trưng bởi sai số trung phương nhỏ hơn đại lượng sau:

$$m_{\zeta_i} = \sqrt{m^2 \zeta_i + m^2 \zeta_i} = \sqrt{(0,03\text{m})^2 + (0,02\text{m})^2} = 0,036\text{m} = 36\text{mm} .$$

Một vấn đề kỹ thuật cần làm rõ là xác định yêu cầu độ chính xác đo đặc trọng lực. Mối quan hệ giữa sai số trung phương dị thường độ cao  $m_{\zeta}$  và sai số trung phương của dị thường trọng lực  $m_{\Delta g}$  có dạng như sau [ 95]:

$$m_{\zeta} = 0,00175 \cdot \frac{S}{2} \cdot m_{\Delta g} ,$$

ở đây S là mật độ giữa các điểm trọng lực.

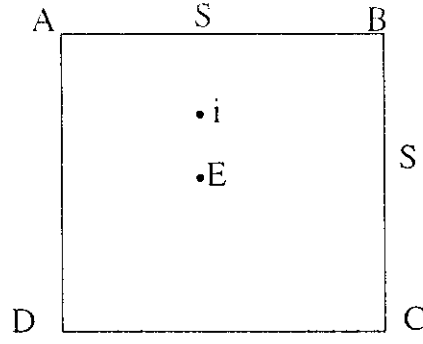
Khi cho  $m_{\zeta} = 0,03\text{m}$  và  $S = 10 \text{ km}$  suy ra

$$m_{\Delta g} = 3,4\text{mgal} .$$

Sai số trung phương đo trọng lực  $m_g$  cần bảo đảm nhỏ hơn sai số trung phương của dị thường trọng lực  $m_{\Delta g}$  cỡ 10 lần. Từ đây suy ra  $m_g \approx 0,3 \text{ mgal}$ , tức là cần đo trọng lực với sai số trung phương cỡ 0,3 mgal.

#### **§4.1.2. Nội suy theo phương pháp Collocation.**

Giả sử A, B, C, D là các điểm độ cao cơ sở với các giá trị dị thường độ cao  $\zeta_A, \zeta_B, \zeta_C, \zeta_D$ . Chúng tạo thành hình vuông có chiều dài cạnh bằng S(km). Gọi i là điểm cần được nội suy dị thường độ cao  $\zeta_i$ .



Theo phương pháp Collocation chúng ta có [91]:

$$\zeta_i = C_{\zeta_i \zeta} C_{\zeta \zeta}^{-1} \zeta, \quad (4.6)$$

trong đó

$$C_{\zeta_i \zeta} = (C_{\zeta_i \zeta_A}, C_{\zeta_i \zeta_B}, C_{\zeta_i \zeta_C}, C_{\zeta_i \zeta_D}), \quad (4.7)$$

$$C_{\zeta \zeta} = \begin{pmatrix} C_{\zeta_A \zeta_A} & C_{\zeta_A \zeta_B} & C_{\zeta_A \zeta_C} & C_{\zeta_A \zeta_D} \\ C_{\zeta_B \zeta_A} & C_{\zeta_B \zeta_B} & C_{\zeta_B \zeta_C} & C_{\zeta_B \zeta_D} \\ C_{\zeta_C \zeta_A} & C_{\zeta_C \zeta_B} & C_{\zeta_C \zeta_C} & C_{\zeta_C \zeta_D} \\ C_{\zeta_D \zeta_A} & C_{\zeta_D \zeta_B} & C_{\zeta_D \zeta_C} & C_{\zeta_D \zeta_D} \end{pmatrix}, \quad (4.8)$$

$$\zeta = \begin{pmatrix} \zeta_A \\ \zeta_B \\ \zeta_C \\ \zeta_D \end{pmatrix}, \quad (4.9)$$

$C_{\zeta_i \zeta}, C_{\zeta \zeta}$  là các giá trị hiệu phương sai của các dị thường độ cao. Hàm này có dạng:

$$C_{\zeta}(S) = \frac{3D_{\Delta g}L^2}{2\gamma^2} e^{-\frac{S}{L}} \left( 1 + \frac{S}{L} + \frac{S^2}{3L^2} \right), \quad (4.10)$$

trong đó  $D_{\Delta g}$  là phương sai của dị thường trọng lực, còn  $L$  - bán kính đặc trưng.

Phương sai của dị thường độ cao nội suy dựa trên phương pháp Collocation được đánh giá theo công thức sau:

$$\sigma_{\zeta_i}^2 = D_{\zeta} - C_{\zeta_i \zeta} C_{\zeta \zeta}^{-1} C_{\zeta \zeta}^T, \quad (4.11)$$

ở đây  $D_z$  là phương sai của dị thường độ cao của điểm độ cao cơ sở.

Việc tính toán thực nghiệm được thực hiện trên cơ sở sử dụng các thông số  $D_{\Delta g}$  và  $L$  của hàm hiệp phương sai dị thường trọng lực đã được nghiên cứu trong [90]. Kết quả tính toán cho thấy là điểm E nằm ở giữa ô vuông có sai số trung phương nội suy lớn nhất. Dưới đây là giá trị sai số nội suy  $\sigma_z$  cho điểm này tương ứng với các khoảng cách khác nhau giữa các điểm độ cao cơ sở ở các vùng đặc trưng khác nhau trên toàn lãnh thổ nước ta.

Giá trị  $\sigma_z$

Bảng 4.2

| S \ Vùng                                                                         | 25 km | 50 km | 75 km | 100 km | 150 km | 200 km |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Tây bắc Bắc bộ<br>$D_{\Delta g} = 103.79 \text{ mgal}$<br>$L = 55,6 \text{ km}$  | 0,07m | 0,23m | 0,44m | 0,68m  | 1,16m  | 1,57m  |
| Đông bắc Bắc bộ<br>$D_{\Delta g} = 103.79 \text{ mgal}$<br>$L = 55,6 \text{ km}$ | 0,07m | 0,14m | 0,16m | 0,16m  | 0,16m  | 0,16m  |
| Trung bộ<br>$D_{\Delta g} = 103.79 \text{ mgal}$<br>$L = 55,6 \text{ km}$        | 0,09m | 0,23m | 0,34m | 0,40m  | 0,43m  | 0,43m  |
| Nam bộ<br>$D_{\Delta g} = 103.79 \text{ mgal}$<br>$L = 55,6 \text{ km}$          | 0,02m | 0,08m | 0,15m | 0,22m  | 0,35m  | 0,44m  |

Số liệu nêu trong bảng 4.2 cho thấy là khi các điểm độ cao cơ sở bố trí cách nhau 25 km thì có thể nội suy dị thường độ cao với sai số trung phương tối đa bằng 0,07 m ở Bắc bộ, bằng 0,09 m ở Trung bộ và bằng 0,02 m ở Nam bộ.

Trong phương pháp Collocation được trình bày ở trên chúng ta không dùng số liệu trọng lực, mà nội suy trực tiếp dị thường độ cao của điểm xét từ các điểm độ cao cơ sở.

#### \$4.1.3. Nội suy theo phương pháp Spline.

Giả sử cho trước các giá trị  $Z_i$  tại các điểm  $P_i$  có tọa độ  $x_i, y_i; i = 1, 2, \dots, N$ . Khi đó giá trị  $z$  tại điểm  $P$  có tọa độ  $x, y$  sẽ được nội suy theo hàm Spline thông qua biểu thức [93]

$$Z(P) = \sum_{i=1}^n a_i r_{Pp_i}^2 \ln r_{Pp_i} + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \cdot x + \varepsilon_3 \cdot y, \quad (4.12)$$

trong đó  $r_{pp_i}$  là khoảng cách giữa điểm xét P và các điểm cho trước  $P_i$ ;  
 $a_i, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  là nghiệm của hệ phương trình tuyến tính

$$\begin{pmatrix} 0 & g_{12} \cdots g_{1n} & 1 & x_1 & y_1 \\ g_{12} & 0 & \cdots & g_{1n} & 1 & x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} \cdots 0 & 1 & x_n & y_n \\ 1 & 1 & \cdots 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & \cdots x_n & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \cdots y_n & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4.13)$$

$$g_{ij} = g_{ji} = \begin{cases} r_{p_i p_j}^2 \ln r_{p_i p_j} & \text{when } i \neq j \\ 0 & \text{when } i = j \end{cases} \quad (4.14)$$

Các giá trị  $Z_i$  được xét là các giá trị dị thường độ cao  $\zeta_2$  do dị thường trong lực trong vùng  $\Sigma_2$  gây ra. Chúng được tính theo công thức

$$\zeta_2 = \frac{R}{2\gamma} \sum_{n=2}^{n_{\max}} \bar{Q}_n(\psi_0) \sum_{m=2}^n (\bar{a}_{nm} \cos m\lambda + \bar{b}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \psi), \quad (4.15)$$

trong đó  $\bar{a}_{nm}, \bar{b}_{nm}$  là các hệ số điều hoà chuẩn hoá của dị thường trọng lực;  $\bar{P}_{nm}(\sin\psi)$  là đa thức Legendre liên hợp bậc  $n$  cấp  $m$ .

Các giá trị  $\tilde{\zeta}_2$  được nội suy theo (4.12) - (4.14) đem so sánh với các giá trị  $\zeta_2$  tương ứng tính theo (4.15). Gọi hiệu của chúng là  $\Delta\zeta_2 = \zeta_2 - \tilde{\zeta}_2$ , chúng ta sẽ tính được giá trị trung phương

$$m_{\zeta_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta \zeta_2)_i^2}{N}}, \quad (4.16)$$

trong đó N là số điểm xét.

Để đánh giá ước tính xét 2 trường hợp với 4 điểm độ cao cơ sở nằm ở 4 góc của ô vuông có kích thước  $1^0 \times 1^0$  ( $S=1^0$ ) và  $2^0 \times 2^0$  ( $S=2^0$ ) ở khu vực có độ vĩ trung bình bằng  $\varphi = 21^0$  và độ kinh trung bình bằng  $105^0$ . Tất cả đã có 41 điểm xét phân bố đều trong mỗi ô vuông. Kết quả tính toán đối với 2 trường hợp được cho ở cột thứ 3 của bảng 4.3.

Với mục đích so sánh xét thêm cả trường hợp nội suy tuyến tính theo công thức

$$\zeta'_2 = \alpha \cdot \psi_p + \beta \cdot \lambda_p + \gamma \quad (4.17)$$

và tính giá trị trung phương của sai số nội suy theo công thức

$$m'_{\zeta_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\zeta_2 - \zeta'_2)_i^2}{N}}. \quad (4.18)$$

Các giá trị  $m'_{\zeta_2}$  được cho ở cột thứ 4 của bảng 4.3.

Giá trị  $m_{\zeta_2}$  và  $m'_{\zeta_2}$

Bảng 4.3

| Khoảng cách<br>giữa các điểm cơ sở | $\psi_0$ | $m_{\zeta_2}$ | $m'_{\zeta_2}$ |
|------------------------------------|----------|---------------|----------------|
| $S = 1^0$                          | $1^0$    | 0,00 m        | 0,03 m         |
|                                    | $2^0$    | 0,00 m        | 0,03 m         |
|                                    | $3^0$    | 0,00 m        | 0,04 m         |
|                                    | $4^0$    | 0,00 m        | 0,05 m         |
|                                    | $5^0$    | 0,00 m        | 0,03 m         |
| $S = 2^0$                          | $1^0$    | 0,10 m        | 0,14 m         |
|                                    | $2^0$    | 0,07 m        | 0,10 m         |
|                                    | $3^0$    | 0,04 m        | 0,08 m         |
|                                    | $4^0$    | 0,05 m        | 0,08 m         |
|                                    | $5^0$    | 0,05 m        | 0,07 m         |

Theo số liệu nêu trong bảng 4.3 thì sai số trung phương nội suy  $\zeta_2$  theo hàm Spline luôn nhỏ bằng 0 khi các điểm độ cao cơ sở nằm cách nhau  $1^0$ ; sai số này đạt giá trị cỡ 0,05m khi các điểm độ cao cơ sở nằm cách nhau cỡ

200km và xung quanh mỗi điểm xét có các giá trị có dị thường trọng lực trong phạm vi bán kính  $\psi_0$  cỡ 250km.

Nếu lưu ý tới sai số trung phương của thành phần dị thường độ cao  $\zeta_1$  như đã xem xét ở mục 4.1, thì sai số trung phương của dị thường độ cao được nội suy bằng hàm Spline tương ứng cỡ bằng 58mm.

Như vậy, nếu xung quanh mỗi điểm xét có các giá trị dị thường trọng lực trong phạm vi bán kính cỡ 250km thì có thể dùng phương pháp nội suy theo hàm Spline từ các điểm độ cao cơ sở nằm cách nhau tới 200km để nhận được giá trị dị thường độ cao với sai số trung phương cỡ 6cm. Yêu cầu về mật độ, độ chính xác của các điểm trọng lực cũng giống như đã nêu ở mục 4.1, nghĩa là cứ 10km cần có một điểm trọng lực với sai số trung phương đo trọng lực cỡ 0,3mgal.

#### **\$4.1.4. Các kết luận của mục 4.1.**

Các kết quả nghiên cứu đánh giá độ chính xác nội suy dị thường độ cao theo các phương pháp nội suy khác nhau cho phép làm một số kết luận sau:

1. Các phương pháp nội suy tuyến tính và spline cho kết quả nội suy dị thường độ cao của điểm xét với độ chính xác cao hơn so với phương pháp collocation;

2. Khi áp dụng phương pháp nội suy tuyến tính, để nhận được dị thường độ cao của điểm xét với sai số trung phương so với các điểm độ cao cơ sở ở mức 6 cm yêu cầu để các điểm độ cao cơ sở cách nhau cỡ 100km và xung quanh mỗi điểm xét trong phạm vi bán kính cỡ 200km phải có các điểm trọng lực với mật độ  $10\text{km} \times 10\text{km}$  có 1 điểm. Phương pháp spline cho kết quả nội suy dị thường độ cao với độ chính xác còn cao hơn;

3. Để nhận được dị thường độ cao của điểm xét với sai số trung phương so với các điểm độ cao cơ sở luôn nhỏ hơn 4 cm yêu cầu để các điểm độ cao cơ sở cách nhau không quá 50km và xung quanh mỗi điểm xét trong phạm vi bán kính cỡ 200km phải có các điểm trọng lực với mật độ  $10\text{ km} \times 10\text{ km}$  có 1 điểm.

Trong các trường hợp nêu trên cần đo gia tốc lực trọng trường với sai số trung phương ở mức 0,3 mgal.

**§4.2. Đánh giá khả năng kiểm soát sự ổn định của Hệ đo cao Quốc gia nhờ kết quả đo lặp trong lúc.**

**§4.2.1. Đánh giá ảnh hưởng của sự biến thiên trong trường trọng lực trái đất đến chênh cao chuẩn giữa hai mốc thủy chuẩn.**

Chênh cao chuẩn  $\Delta H^y$  giữa hai mốc thủy chuẩn hạng I, II Nhà nước được biểu diễn thông qua chênh cao đo được  $\Delta h$  và hai số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của sự không song song giữa các mặt đẳng thế trọng trường như sau [7]:

$$\Delta H^y = \Delta h - \frac{1}{\gamma_m} \Delta \gamma \cdot h_m + \frac{1}{\gamma_m} \Delta g_m \cdot \Delta h,$$

trong đó  $\Delta \gamma$  là hiệu các giá trị trọng lực chuẩn tại hai đầu đoạn đo;  $\Delta g$  là dị thường trọng lực trung bình trên đoạn đo.

Sự biến thiên của trọng trường quả đất dẫn đến sự biến thiên các dị thường trọng lực thông qua sự biến thiên của giá trị trọng lực

$$\Delta g_m = (g - \gamma)_m.$$

Tương ứng, chênh cao chuẩn  $\Delta H^y$  bị thay đổi một lượng bằng

$$\delta(\Delta H^y) = \frac{1}{\gamma_m} \Delta h \cdot \delta(\Delta g_m).$$

Cho  $\delta(\Delta g_m)$  các giá trị khác nhau chúng ta có bảng sau (với  $\gamma_m = 10^6 \text{mgal}$ ,  $\Delta h = 50 \text{m}$  và  $100 \text{m}$ )

| $\Delta h$ | $\delta(\Delta g_m)$<br>mgal | $\delta(\Delta H^y)$<br>mm |
|------------|------------------------------|----------------------------|
| 50m        | 10                           | 0,5                        |
|            | 5                            | 0,25                       |
|            | 1                            | 0,05                       |
|            | 0,1                          | 0,005                      |
|            | 0,01                         | 0,0005                     |
|            | 0,001                        | 0,00005                    |
|            |                              |                            |
| 100m       | 10                           | 1,0                        |
|            | 5                            | 0,50                       |
|            | 1                            | 0,10                       |
|            | 0,1                          | 0,01                       |
|            | 0,01                         | 0,001                      |
|            | 0,001                        | 0,0001                     |
|            |                              |                            |

Giả thiết rằng các giá trị hiệu độ cao chuẩn cần được xác định với độ chính xác đến 0,001 mm, thì khi độ lớn của chênh cao đạt đến 50m cần tính đến ảnh hưởng của sự biến thiên giá trị trọng lực cỡ 0,02 mgal; còn khi độ lớn của chênh cao đạt 100 m cần tính đến ảnh hưởng của sự biến thiên giá trị trọng lực cỡ 0,01 mgal.

Sai số trung phương cho phép của chênh cao thủy chuẩn hạng I và II được cho dưới dạng các công thức sau:

$$\sigma_I = 2\text{mm} \cdot \sqrt{L_{\text{km}}};$$

$$\sigma_{II} = 5\text{mm} \cdot \sqrt{L_{\text{km}}}.$$

Theo tài liệu [51], chiều dài cho phép của tuyến thủy chuẩn hạng I là 1200 km đối với khu vực miền núi và 2000 km đối với khu vực đồng bằng. Đối với vùng đồng bằng, chiều dài cho phép của tuyến thủy chuẩn hạng II là 500 km. Với các chiều dài cho phép nêu trên của các tuyến thủy chuẩn hạng I và II, các đại lượng của các sai số trung phương cho phép  $\sigma_I, \sigma_{II} \gg 0,001\text{mm}$ .

Trong thực tế, biến thiên trọng lực do dịch chuyển vật chất trong lòng trái đất đạt cỡ  $10\mu\text{gal} = 0,01\text{mgal}$ , còn biến thiên trọng lực do địa thủy triều đạt cỡ  $150\mu\text{gal} = 0,15\text{mgal}$ . Các biến thiên này không gây ảnh hưởng đến sự ổn định của Hệ độ cao Quốc gia.

#### **§4.2.2. Đánh giá ảnh hưởng của sự biến thiên trong trường trái đất đến hiệu di thường độ cao giữa hai điểm trắc địa..**

Di thường độ cao được xác định theo công thức Stokes:

$$\zeta = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (g - \gamma) S(\psi) \sin\psi \, d\psi \, dA.$$

trong đó  $(g - \gamma)$  là giá trị dị thường trọng lực tại điểm chạy trên phạm vi toàn trái đất;  $\psi$  là khoảng cách cầu giữa điểm xét tại đó cần tính  $\zeta$  và điểm chạy,  $A$  là phương vị của hướng nối điểm xét và điểm chạy;  $S(\psi)$  là hàm số Stokes.

Khi vùng xét được hạn chế trong một khu vực, chúng ta có thể giới hạn vùng lấy tích phân trong phạm vi bán kính  $\psi_0$  xung quanh điểm xét. Khi đó chúng ta có

$$\zeta' = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^{\psi_0} \int_0^{2\pi} (g - \gamma) S(\psi) \sin\psi \, d\psi \, dA.$$

Gọi  $\delta g = g_2 - g_1$  là đại lượng thay đổi giá trị trọng lực giữa hai lần đo lặp, chúng ta có thể tính đại lượng thay đổi giá trị dị thường độ cao  $\delta\zeta'$  tương ứng như sau:

$$\delta\zeta' = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_0^{\psi_0} \int_0^{2\pi} \delta g \cdot S(\psi) \cdot \sin\psi \cdot d\psi \cdot dA.$$

Để ước tính trị số của  $\delta\zeta'$ , chúng ta có thể sử dụng công thức sau [95]:

$$\delta\zeta' = 0,00175 \cdot \frac{S}{2} \cdot \delta g, \quad (4.19)$$

trong đó S là khoảng cách giữa hai điểm trọng lực kề nhau trong mạng lưới trọng lực phân bố đều.

Giả thiết rằng chúng ta có mạng lưới trọng lực với mật độ điểm là 1điểm/100km<sup>2</sup>, tức là S = 10km. Khi đó ứng với các giá trị  $\delta g$  khác nhau chúng ta sẽ có bảng sau:

|                |           |           |       |
|----------------|-----------|-----------|-------|
| $\delta g$     | 0,01 mgal | 0,10 mgal | 1mgal |
| $\delta\zeta'$ | 0,1 mm    | 0,9 mm    | 9 mm  |

Sự biến thiên  $\delta\Delta\zeta'$  của hiệu dị thường độ cao giữa hai điểm trắc địa sẽ được đánh giá bằng  $\sqrt{2} \cdot \delta\zeta'$ , ở đây giá trị  $\delta\zeta'$  được cho trong bảng.

Tương ứng với biến thiên trọng lực do dịch chuyển vật chất trong lòng trái đất đạt cỡ 0,01 mgal suy ra  $\delta\Delta\zeta' = 0,14\text{mm}$ ; còn tương ứng với biến thiên trọng lực do địa – thủy triều đạt cỡ 0,15mgal chúng ta có  $\delta\Delta\zeta' = 2,0\text{mm}$ .

Các giá trị trên rất có ý nghĩa khi sử dụng kết quả đo lặp các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học để góp phần nghiên cứu sự chuyển dịch đứng của vỏ trái đất. Để làm điều này cần tiến hành đo lặp trọng lực độ chính xác cao.

Để xác định được độ biến thiên tới 0,01 mgal của trọng lực, có thể sử dụng các máy trọng lực độ chính xác cao bao gồm máy trọng lực lò so thạch anh Worden (Hãng Texas Instrument, Mỹ), máy trọng lực tăng nhạy dùng lò so kim loại Lacoste and Romberg (Hãng Texas Instrument, Mỹ) và máy trọng lực dùng lò so xoắn Askania (hãng Askania Worke, CHLB Đức).

## **CHƯƠNG 5. XÁC ĐỊNH CÁC HẠNG VÀ XÂY DỰNG TIÊU CHUẨN KỸ THUẬT CỦA CÁC MẠNG LƯỚI GPS TRONG HỆ TỌA ĐỘ ĐÔNG HỌC.**

### **\$5.1. Đặt vấn đề.**

Trong chương này, chúng ta sẽ xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học dựa trên việc xác định chức năng nhiệm vụ cụ thể cho từng hạng của các mạng lưới GPS. Để xác định các tiêu chuẩn kỹ thuật của từng hạng mạng lưới GPS cần giải quyết hàng loạt các vấn đề kỹ thuật như xác định sai số vị trí điểm mặt bằng tương hỗ giữa các điểm GPS ở hạng thấp hơn và các điểm GPS ở hạng cao hơn; xác định chiều dài nhỏ nhất ( $S_{\min}$ ) và chiều dài lớn nhất ( $S_{\max}$ ) của mạng lưới GPS ở từng hạng; xác định góc ngưỡng vệ tinh nhỏ nhất cho phép và thời gian thu tín hiệu vệ tinh cần thiết trong quá trình đo đạc GPS để xây dựng mạng lưới GPS ở hạng xác định; lựa chọn mức độ chính xác lịch vệ tinh cần thiết để xử lý dữ liệu đo GPS trong mạng lưới GPS ở từng hạng xác định nhằm đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới đó. Chúng ta sẽ xem xét việc giải quyết các bài toán nêu trên trong các mục tiếp theo của chương này.

Xuất phát từ một trong những nhiệm vụ cơ bản của Hệ tọa độ động học đã được trình bày ở chương 1: đảm bảo việc xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao phục vụ việc thành lập bản đồ địa hình các tỷ lệ lớn bằng công nghệ GPS, việc phân hạng các mạng lưới GPS và xác định mật độ các điểm GPS trong từng hạng sẽ phụ thuộc vào độ chính xác truyền dị thường độ cao từ mạng lưới hạng cao xuống các điểm của mạng lưới GPS hạng thấp hơn bằng các phương pháp nội suy trọng lực và yêu cầu kỹ thuật của việc ứng dụng các phương pháp đo tĩnh nhanh, đo GPS động trong đo đạc - thành lập bản đồ.

### **\$5.2. Giải quyết một số bài toán khoa học-kỹ thuật để xây dựng một số tiêu chuẩn kỹ thuật cho các mạng lưới GPS các hạng.**

#### **\$5.2.1. Xác định sai số vị trí điểm mặt bằng tương hỗ của các điểm GPS theo các hạng.**

Khi xây dựng các hạng, cấp của các mạng lưới trắc địa mặt bằng truyền thống, người ta căn cứ vào sai số vị trí điểm của điểm đo chi tiết tương ứng với các điểm hạng I và sai số vị trí điểm tương hỗ điểm mặt bằng cùng cấp hạng để xác định số lượng các hạng, cấp lưới và xây dựng tiêu chuẩn kỹ thuật cho từng

hạng, cấp lưới. Sai số vị trí tương hỗ điểm mặt bằng được nhận bằng  $\pm 6\text{cm}$ . Các mạng lưới trắc địa mặt bằng truyền thống hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu đo đạc bản đồ địa hình tỷ lệ lớn nhất 1/500.

Ở Liên bang Nga, kết quả bình sai mạng lưới thiên văn - trắc địa trong Hệ tọa độ SK-95 cho thấy sai số vị trí tương hỗ giữa các điểm ở mức 2–4cm [54]. Do đó với mục đích nâng cao độ chính xác của công tác đo đạc - bản đồ và tương ứng với yêu cầu của mạng lưới thiên văn - trắc địa, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ của các điểm trong mạng lưới trắc địa vệ tinh được nhận ở mức 1–3cm [16].

Tuy nhiên, như đã phân tích ở trong [36], độ chính xác đo đạc GPS hiện nay đã đạt ở mức một vài mm khi sử dụng các dịch vụ của Tổ chức IGS. Điều này có nghĩa là độ chính xác đo đạc GPS đã vượt quá yêu cầu về độ chính xác của công tác đo đạc - thành lập bản đồ. Do đó việc ứng dụng quy trình đo đạc GPS độ chính xác cao để xây dựng các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học còn hướng đến một mục đích khác nữa: *nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trên phạm vi lãnh thổ Quốc gia trong sự phối hợp với các mạng lưới GPS địa động học chuyên dụng khác nhằm ghi nhận được tốc độ chuyển dịch của vỏ trái đất ở mức 1 – 2 cm/năm (ngang và đứng)*. Để xác định tốc độ chuyển dịch nêu trên bằng phương pháp trắc địa yêu cầu độ chính xác đo đạc ở mức một vài mm.

Như vậy, ngoài các chức năng tạo cơ sở tọa độ không gian phục vụ công tác đo đạc - thành lập bản đồ, truyền độ cao trắc địa độ chính xác cao ra toàn lãnh thổ phục vụ việc xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao, Hệ tọa độ động học còn có thêm chức năng phục vụ việc nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trên phạm vi lãnh thổ Quốc gia.

Để xác định các vectơ baseline độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn, chúng ta phải sử dụng quy trình đo đạc và phần mềm xử lý dữ liệu GPS tiên tiến nhất và sử dụng đầy đủ các dịch vụ do tổ chức IGS cung cấp, trong đó có lịch vệ tinh với mức độ chính xác cao nhất. Khi áp dụng các biện pháp để loại bỏ hoặc làm giảm thiểu các nguồn sai số trong các trị đo GPS và sử dụng lịch vệ tinh chính xác trong xử lý toán học các trị đo GPS, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS cùng hạng chỉ ở mức một vài mm hoặc nhỏ hơn. Do đó sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS lúc này là hệ quả của quá trình xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao và không còn đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá độ chính xác đo đạc như đối với mạng lưới trắc địa truyền thống.

Từ công thức (1.6) chúng ta thấy rằng sai số vị trí mật bằng tương hỗ giữa các điểm của mạng lưới GPS cùng hạng hoàn toàn có thể được đánh giá dựa vào khoảng cách trung bình giữa các điểm của mạng lưới đó và mức độ chính xác của lịch vệ tinh được qui định cho hạng của mạng lưới đó. Dựa trên bảng 1.3 ở chương 1 và công thức (1.6), chúng ta có các đánh giá ước tính sai số vị trí tương hỗ mật bằng giữa 2 điểm GPS trên các khoảng cách khác nhau như sau.

Bảng 5.1

| S(km)      | Mức độ chính xác vệ<br>tinh | M(mm)     |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 900 - 1000 | 1                           | 3,1 – 3,5 |
|            | 2                           | 6,3 – 7,0 |
| 600 - 800  | 1                           | 2,1 – 2,8 |
|            | 2                           | 4,2 – 5,6 |
| 300 - 500  | 1                           | 1,1 – 1,7 |
|            | 2                           | 2,1 – 3,5 |
| 80 - 100   | 1                           | 0,3       |
|            | 2                           | 0,6 – 0,7 |
| 50 - 70    | 1                           | 0,2 - 0,3 |
|            | 2                           | 0,3 – 0,6 |
| 20 - 40    | 1                           | 0,1 – 0,2 |
|            | 2                           | 0,1 – 0,3 |

Các giá trị  $M$  trong bảng 5.1 sẽ cho phép đánh giá sai số vị trí điểm mật bằng của điểm thuộc mạng lưới GPS hạng thấp nhất so với các điểm thuộc mạng lưới GPS hạng cao nhất khi biết số lượng các hạng và mật độ trung bình của các điểm trong từng hạng.

**§5.2.2. Nghiên cứu xác định đô chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS cùng hạng [85].**

Một trong những vấn đề quan trọng của việc xây dựng tiêu chuẩn kỹ thuật cho một cấp hạng của mạng lưới GPS là xác định chiều dài nhỏ nhất ( $S_{\min}$ ) và chiều dài lớn nhất ( $S_{\max}$ ) của mạng lưới đó. Để giải quyết vấn đề trên cần làm rõ một số câu hỏi sau:

- Sự khác nhau về độ chính xác của các vectơ baseline tạo nên mạng lưới GPS sẽ ảnh hưởng như thế nào đến chất lượng tính toán bình sai mạng lưới đó?
- Độ chính xác của các vectơ baseline có phụ thuộc vào khoảng cách không?

Việc nghiên cứu xác định độ chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS cũng hạng trên cơ sở trả lời hai câu hỏi nêu trên sẽ được thực hiện trong mục này.

**§5.2.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của sự khác nhau về độ chính xác của các véc tơ baseline đến chất lượng bình sai mạng lưới GPS.**

Để đánh giá chất lượng bình sai mạng lưới GPS chúng ta sẽ sử dụng 2 tiêu chuẩn: định thức  $\det(R)$  của ma trận chuẩn  $R$  và vết  $Tr(Q)$  của ma trận nghịch đảo  $Q = R^{-1}$ .

Nếu định thức  $\det(R)$  càng giảm thì độ ổn định của ma trận chuẩn  $R$  càng kém.

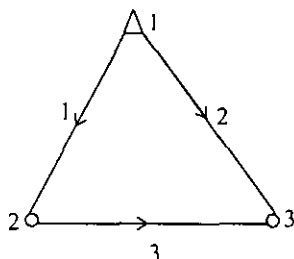
Sai số vị trí điểm trung bình  $M$  của mạng lưới được đặc trưng bởi công thức [55]:

$$M^2 = \tau^2 \frac{Tr(Q)}{N}, \quad (5.1)$$

ở đây  $N$  – tổng số điểm cần xác định của mạng lưới;  $\tau$  - sai số trung phương đơn vị trọng số.

Từ công thức (5.1) chúng ta thấy rằng khi vết  $Tr(Q)$  càng giảm thì độ chính xác vị trí điểm trung bình của mạng lưới càng tăng.

Bây giờ chúng ta xem xét mạng lưới GPS gồm 3 điểm với 1 điểm là điểm gốc.



Để đánh giá ước tính, đối với mỗi véc tơ baseline  $i$  chúng ta chấp nhận điều kiện bằng nhau của các thành phần đường chéo của ma trận liên hệ  $K_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$ , tức thoả mãn điều kiện (3.15).

Khi lưu ý (3.15) và chọn  $\sigma_1$  làm sai số trung phương đặc trưng cho baseline 1,  $\sigma_2$  làm sai số trung phương đặc trưng cho baseline 2,  $\sigma_3$  làm sai số trung phương đặc trưng cho baseline 3 và nhận  $\sigma_1$  làm sai số trung phương đơn vị trọng số, ma trận chuẩn  $R$  đối với mạng lưới GPS ở trên sẽ có dạng:

$$R = \left[ \begin{array}{ccc|ccc} 1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} \\ \hline -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} & 0 & 0 & \frac{\sigma_1^2}{\sigma_3^2} + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \end{array} \right] =$$

$$= \left[ \begin{array}{c|c} S & C \\ \hline C^T & D \end{array} \right].$$

Dựa vào công thức tính định thức đã biết

$$\det(R) = \det(S) \cdot \det[(D - C^T \cdot S^{-1} \cdot C)]$$

chúng ta có:

$$\det(R) = \frac{\sigma_1^6}{\sigma_2^6 \cdot \sigma_3^6} \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)^3. \quad (5.2)$$

Ma trận nghịch đảo  $Q = R^{-1}$  được xác định theo công thức Phronbenius và có dạng:

$$Q = \left[ \begin{array}{c|c} \frac{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \cdot E_{3 \times 3} & \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \cdot E_{3 \times 3} \\ \hline \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \cdot E_{3 \times 3} & \frac{\sigma_2^2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}{\sigma_1^2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)} \cdot E_{3 \times 3} \end{array} \right],$$

ở đây  $E_{3 \times 3}$  - ma trận đơn vị bậc 3.

Cuối cùng

$$Tr(Q) = 3 \cdot \left[ \frac{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} + \frac{\sigma_2^2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}{\sigma_1^2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)} \right]. \quad (5.3)$$

Chúng ta sẽ phân tích một số trường hợp trên cơ sở phân tích các công thức (5.2) và (5.3).

**Trường hợp 1:** Độ chính xác của các véc tơ baseline là như nhau, tức

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma.$$

Khi đó:

$$\det(R) = 27; \text{Tr}(Q) = 4/3 = 1,33.$$

**Trường hợp 2:** Độ chính xác của các véc tơ baseline không như nhau, thêm vào đó  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ ;  $\sigma_3^2 = k \cdot \sigma^2$ . ở đây  $k$  - số thực dương.

Khi đó:

$$\det(R) = \left(\frac{2}{k} + 1\right)^3;$$

$$\text{Tr}(Q) = 6 \cdot \left(\frac{1+k}{2+k}\right) = 6 \cdot \left(1 - \frac{1}{2+k}\right).$$

Khi  $k > 1$ : Nếu  $k$  tăng thì  $\det(R)$  giảm và hội tụ về 1, còn  $\text{Tr}(Q)$  giảm và hội tụ về 6. Trường hợp này tồi hơn so với trường hợp 1.

Khi  $k < 1$ : Nếu  $k$  giảm dần thì  $\det(R)$  tăng lên, còn  $\text{Tr}(Q)$  giảm dần nhưng hội tụ về 3. Trường hợp này tồi hơn so với trường hợp 1.

**Trường hợp 3:** Độ chính xác của các véc tơ baseline không như nhau, thêm vào đó  $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma$ ;  $\sigma_2^2 = k \cdot \sigma^2$ .

Khi đó:

$$\det(R) = \left(\frac{2}{k} + 1\right)^3;$$

$$\text{Tr}(Q) = 3 \cdot \left(3 - \frac{5}{2+k}\right).$$

Khi  $k > 1$ : Nếu  $k$  tăng thì  $\det(R)$  giảm và hội tụ về 1, còn  $\text{Tr}(Q)$  tăng và hội tụ về 9.

Khi  $k < 1$ : Nếu  $k$  giảm thì  $\det(R)$  tăng lên, còn  $\text{Tr}(Q)$  giảm dần và hội tụ về 1,5. Trường hợp này có thể so sánh với trường hợp 1.

**Trường hợp 4:** Độ chính xác của các véc tơ baseline không như nhau, thêm vào đó  $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$ ;  $\sigma_1^2 = k \cdot \sigma^2$ .

Khi đó:

$$\det(R) = k^3 \cdot (2+k)^3;$$

$$\text{Tr}(Q) = \frac{3 \cdot (1+3k)}{k \cdot (2+k)}.$$

Khi  $k > 1$ : Nếu  $k$  tăng thì  $\det(R)$  tăng lên, còn  $\text{Tr}(Q)$  giảm dần và hội tụ về 0. Đây là trường hợp tốt nhất.

Khi  $k < 1$ : Nếu  $k$  giảm thì  $\det(R)$  giảm dần và hội tụ về 0, còn  $\text{Tr}(Q)$  tăng lên và hội tụ về  $\infty$ . Trường hợp này không chấp nhận được.

Các kết quả khảo sát trên cho thấy rằng trong trường hợp độ chính xác của các véc tơ baseline không như nhau, việc điều chỉnh độ chính xác của các véc tơ baseline để nhận được kết quả bình sai tốt nhất là công việc phức tạp và không thực tế, đặc biệt đối với mạng lưới GPS lớn.

Do đó, trong mọi trường hợp có thể kết luận rằng việc đạt được độ chính xác như nhau của các véc tơ baseline trong mạng lưới GPS luôn là phương án tốt nhất từ quan điểm thực tế.

#### **§5.2.2.2. Xác định độ chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS.**

Khi chấp nhận điều kiện (3.15) trong đánh giá ước tính độ chính xác đo đạc GPS, sai số trung phương  $m_s$  của chiều dài baseline được đánh giá theo công thức:

$$m_s = \sqrt{3} \cdot m_{\Delta x} = \sqrt{3} \cdot m_{\Delta y} = \sqrt{3} \cdot m_{\Delta z} = \sqrt{3} \cdot \sigma. \quad (5.4)$$

Khi đó từ (5.4) có thể thấy rằng việc khảo sát độ chính xác của véc tơ baseline dẫn đến việc khảo sát độ chính xác chiều dài  $S$  của baseline.

Từ công thức (1.4) và bảng 1.2 trong chương 1 có thể thấy rằng:

- Khi sử dụng lịch vệ tinh cùng mức độ chính xác, tức  $\alpha$  và  $\beta$  cố định, thì sai số trung phương  $m_s$  phụ thuộc vào chiều dài  $S$  của baseline.

- Trái lại, khi sử dụng lịch vệ tinh với các mức độ chính xác khác nhau, có thể nhận được độ chính xác  $m_s$  như nhau đối các chiều dài  $S$  khác nhau của các baseline trong mạng lưới GPS.

Ví dụ cho  $m_s = 0,001\text{m}$ . Khi đó với mức độ chính xác 10cm của lịch vệ tinh, từ (1.4) suy ra  $S = 200\text{km}$ ; với mức độ độ chính xác 5cm:  $S = 400\text{km}$ .

Tuy nhiên, trong thực tế việc sử dụng nhiều lịch vệ tinh với các mức độ chính xác khác nhau rất không tiện lợi cho việc tổ chức tính toán xử lý dữ liệu đo GPS trong mạng lưới GPS cùng cấp hạng.

Do đó bài toán đặt ra cần giải quyết là chỉ sử dụng lịch vệ tinh cùng mức độ chính xác, nhưng sự khác nhau giữa các chiều dài baseline trong mạng lưới

GPS cùng hạng chỉ ở mức để có thể coi các sai số trung phương chiều dài của các baseline là như nhau, tức các vectơ baseline cùng độ chính xác.

Bài toán này được giải quyết như sau. Gọi  $\bar{S}$  là cạnh trung bình của mạng lưới GPS,  $\delta S = \bar{S} - S$  - độ chênh của cạnh S so với cạnh trung bình. Khi đó từ (1.4) suy ra công thức tính sai số cạnh:

$$m_{\bar{S}} = \alpha \cdot 10^{-\beta} \cdot \bar{S} = \alpha \cdot 10^{-\beta} \cdot (S + \delta S). \quad (5.5)$$

Bây giờ đặt  $m_1 = \alpha \cdot 10^{-\beta} \cdot S$ ;  $m_2 = \alpha \cdot 10^{-\beta} \cdot \delta S$ . Do các sai số  $m_1, m_2$  độc lập với nhau, nên từ (5.5) suy ra sai số trung phương

$$m_{\bar{S}}^2 = m_1^2 + m_2^2. \quad (5.6)$$

Dựa trên nguyên tắc nhỏ bỏ qua, sai số trung phương  $m_2$  trong (5.6) có thể coi là nhỏ bỏ qua khi:

$$m_2 \leq \frac{1}{k} \cdot m_{\bar{S}}, \quad (5.7)$$

ở đây hệ số  $k = 3, 4, 5$ .

Chọn  $k = 3$ , từ (5.7) suy ra:

$$\delta S \leq \frac{1}{3} \cdot \bar{S} \quad (5.8)$$

Công thức (5.8) là cơ sở để xác định chiều dài cạnh lớn nhất ( $S_{\max}$ ) và chiều dài cạnh nhỏ nhất ( $S_{\min}$ ) trong mạng lưới GPS cùng cấp hạng để đảm bảo độ chính xác của các vectơ baseline được coi là như nhau. Khi đó

$$S_{\max} = \bar{S} + \delta S = 1,333 \cdot \bar{S},$$

$$S_{\min} = \bar{S} - \delta S = 0,777 \cdot \bar{S}.$$

Ví dụ chọn  $\bar{S} = 220\text{km}$ , từ (5.8) suy ra  $S_{\min} = 150\text{km}$  và  $S_{\max} = 300\text{km}$ . Các chiều dài  $S_{\max}$  và  $S_{\min}$  này trùng với tiêu chuẩn mật độ điểm của mạng lưới thiên văn trắc địa độ chính xác cao trong Hệ tọa độ động học của liên bang Nga (xem mục §1.6, chương 1).

Như vậy một trong những vấn đề quan trọng để xây dựng tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới GPS là xác định các chiều dài cạnh lớn nhất ( $S_{\max}$ ) và nhỏ nhất ( $S_{\min}$ ) cho phép đối với mạng lưới đó. Điều này đảm bảo để khi sử dụng lịch vệ tinh cùng mức độ chính xác trong quá trình xử lý các dữ liệu đo GPS, các vectơ baseline được coi là cùng độ chính xác. Công thức (5.8) là cơ sở để xác định  $S_{\max}$  và  $S_{\min}$  đối với các mạng lưới GPS các cấp hạng sẽ được xây dựng ở mục §5.3.

**\$5.2.3. Xác định góc ngưỡng vệ tinh nhỏ nhất cho phép trong đo đạc GPS để xây dựng mạng lưới GPS ở hạng xác định trong Hệ tọa độ động học [86].**

Góc ngưỡng vệ tinh E là một trong những tiêu chuẩn kỹ thuật quan trọng khi thiết kế đo đạc GPS độ chính xác cao trong mạng lưới GPS ở hạng xác định. Vấn đề lựa chọn góc ngưỡng vệ tinh E được thực hiện trên cơ sở đáp ứng yêu cầu cụ thể về độ chính xác xây dựng mạng lưới GPS và tính đến các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác đo đạc GPS. ảnh hưởng của tầng đối lưu đến kết quả đo GPS là nhân tố cơ bản hạn chế độ chính xác xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS. Theo kết quả nghiên cứu trong [20], khi chọn  $E \geq 15^0$ , sai số trung phương xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS được đánh giá ở mức 3 lần lớn hơn sai số trung phương chiều dài cạnh. Theo [1], sự cong hình học của tín hiệu vệ tinh gây ra sự chậm thời gian trong tầng đối lưu nhỏ bỏ qua khi góc  $E \geq 5^0$ . Theo kết quả khảo cứu trong \$2.2, khi góc E càng nhỏ thì độ chính xác xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS càng được nâng cao.

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của việc xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học là đảm bảo việc truyền độ cao trắc địa độ chính xác cao (ở mức 5cm) ra toàn lãnh thổ phục vụ việc giải quyết bài toán xác định độ cao chuẩn độ chính xác cao bằng công nghệ GPS. Do đó việc sử dụng góc ngưỡng vệ tinh nhỏ là một yêu cầu khách quan để xác định hiệu độ cao trắc địa độ chính xác cao trong các mạng lưới GPS của Hệ tọa độ động học. Ngoài ra việc chọn góc E nhỏ còn cho phép giảm thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên các trạm cách nhau đến hàng trăm km. Tuy nhiên, khi chọn góc E nhỏ ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền (Multipath) đến kết quả đo GPS sẽ mạnh lên. Rất may mắn, các Hãng chế tạo Anten thu tín hiệu vệ tinh đã chế tạo Anten vòng cảm kháng cao tần (Xem Phụ lục 2) cho phép hạn chế tối đa ảnh hưởng của hiện tượng đa đường truyền. Đây là đóng góp quan trọng của việc phát triển công nghệ GPS để đo đạc GPS độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn, đặc biệt phục vụ việc xác định hiệu độ cao trắc địa độ chính xác cao trên các khoảng cách lớn.

Chúng ta sẽ xem xét cơ sở xác định góc ngưỡng vệ tinh cho các mạng lưới GPS độ chính xác khác nhau.

Từ công thức (2.18a) chúng ta nhận thấy rằng khi góc E càng lớn thì ảnh hưởng của tầng đối lưu đến kết quả đo phase càng giảm. Tuy nhiên cần xác định

điều kiện để chọn góc E sao cho vừa giảm được ảnh hưởng của tầng đối lưu, vừa nâng cao được độ chính xác xác định hiệu độ cao trắc địa bằng công nghệ GPS. Công thức (2.18a) sẽ được sử dụng để tính toán tiếp theo do nó được xây dựng đối với các góc ngưỡng vệ tinh nhỏ.

Khi xử lý dữ liệu đo đạc GPS độ chính xác cao, người ta thường sử dụng sóng mang tần số  $L_3$  để loại bỏ ảnh hưởng của tầng điện ly. Khi thu tín hiệu vệ tinh bằng máy hai tần số từ vệ tinh  $i$  đến máy thu  $j$  vào thời điểm  $t$ , chúng ta có thể viết phương trình số cải chính của trị đo phase  $\varphi_3(i, j, t)$  dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} V_{\varphi_3(i,j,t)} = & a_1 \cdot \delta X_i + a_2 \cdot \delta Y_i + a_3 \cdot \delta Z_i + f_1 \cdot (dt_i - dT_j) + \alpha \cdot N_3(i, j) + \\ & + \alpha \cdot (\varphi_i^{L_3}(t_0) - \varphi_j^{L_3}(t_0)) + \bar{\varphi}_3; \end{aligned} \quad (5.9)$$

ở đây  $\delta X_i, \delta Y_i, \delta Z_i$  - các số cải chính vào tọa độ của điểm  $j$ ;  $dt_i$  - sai số đồng hồ vệ tinh  $i$ ;  $dT_j$  - sai số đồng hồ máy thu  $j$ ;  $N_3(i, j)$  - trị nguyên đa trị của sóng mang  $L_3$ ;  $\alpha = 0,0016$ ;  $\varphi_i^{L_3}(t_0)$  và  $\varphi_j^{L_3}(t_0)$  - các phase ban đầu của sóng mang  $L_3$  và bản copy của nó trong máy thu và thực tế các giá trị này được tính theo các giá trị tương ứng của các sóng mang  $L_1, L_2$  và các bản copy của chúng; đại lượng

$$\bar{\varphi}_3 = \frac{f_1}{C} \cdot \left[ \frac{x_i - x_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \cdot \delta x_i + \frac{y_i - y_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \cdot \delta y_i + \frac{z_i - z_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \cdot \delta z_i \right] + \frac{f_1}{C} \cdot \bar{T}_{(i,j,t)} - \varphi_3 + \frac{f_1}{C} \cdot \rho_0(i, j, t), \quad (5.10)$$

ở đây  $x_i, y_i, z_i$ ;  $x_j^{(0)}, y_j^{(0)}, z_j^{(0)}$  - tọa độ vệ tinh  $i$  vào thời điểm  $t$  và tọa độ gần đúng của máy thu  $j$ ;  $\delta x_i, \delta y_i, \delta z_i$  - các sai số của tọa độ vệ tinh;  $\bar{T}_{(i,j,t)}$  - số cải chính do ảnh hưởng của tầng đối lưu;  $\varphi_3$  - giá trị đo của phase sóng mang tần số  $L_3$ ;  $\rho_0(i, j, t)$  - giá trị gần đúng của giả cự ly.

Sai số trung phương của trị đo phase tương ứng với phương trình (5.9) được xác định dựa trên công thức (5.10) và có dạng sau:

$$\begin{aligned} m_{\varphi_3}^2 = & \frac{f_1^2}{C^2} \cdot \left[ \left( \frac{x_i - x_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \right)^2 \cdot m^2 x_i + \left( \frac{y_i - y_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \right)^2 \cdot m^2 y_i + \left( \frac{z_i - z_j^{(0)}}{\rho_0^{(i,j,t)}} \right)^2 \cdot m^2 z_i \right] + \\ & + \frac{f_1^2}{C^2} \cdot m_T^2 + m_{\varphi_3}^2. \end{aligned} \quad (5.11)$$

Đại lượng  $m_{\varphi_3}$  rất nhỏ so với hai thành phần đầu tiên trong (5.11). Do đó nó sẽ bị bỏ qua trong các tính toán tiếp theo. Với mục đích đánh giá ước tính, chúng ta chấp nhận nhận điều kiện:

$$m_X = m_Y = m_Z = \frac{M}{\sqrt{3}},$$

ở đây M - sai số vị trí của vệ tinh được đặc trưng bởi mức chính xác của lịch vệ tinh được sử dụng.

Khi đó từ (5.11) suy ra:

$$m_{\varphi_i}^2 = \frac{f_i^2}{C^2} \cdot \frac{M^2}{3} + \frac{f_i^2}{C^2} \cdot m_r^2. \quad (5.12)$$

Nếu từ 2 máy thu  $j_1$  và  $j_2$  thu tín hiệu đồng thời từ 2 vệ tinh  $i_1$  và  $i_2$  thì trên cơ sở (5.9) chúng ta xác định được phương trình số cải chính đối với hiệu phase kép:

$$\begin{aligned} \nabla \Delta V_{\varphi_3}(i_1, i_2, j_1, j_2, t) = & b_1 \cdot \Delta X_{j_1} + b_2 \cdot \Delta Y_{j_1} + b_3 \cdot \Delta Z_{j_1} + b_4 \cdot \Delta X_{j_2} + b_5 \cdot \Delta Y_{j_2} + \\ & + b_6 \cdot \Delta Z_{j_2} + \alpha \cdot (N_3(i_1, j_1) - N_3(i_1, j_2) - N_3(i_2, j_1) + N_3(i_2, j_2)) + \\ & + [\bar{\varphi}_3(i_1, j_1, t) - \bar{\varphi}_3(i_1, j_2, t) - \bar{\varphi}_3(i_2, j_1, t) + \bar{\varphi}_3(i_2, j_2, t)] \end{aligned} \quad (5.13)$$

Phương trình (5.13) được sử dụng để xác định các trị nguyên đa trị và các số cải chính toạ độ các trạm thu. Trong phương trình (5.13) hoàn toàn loại bỏ các sai số đồng hồ vệ tinh, máy thu và các giá trị phase ban đầu. Như vậy các nguồn sai số cơ bản trong hiệu phase kép của các phase sóng mang tần số  $L_3$  là các sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu, mức độ chính xác của lịch vệ tinh được sử dụng và sai số của trị đo phase  $\varphi_3$ . Điều này giải thích cho ý nghĩa của công thức (5.12). Sai số trung phương trị đo hiệu phase kép được tính theo công thức:

$$m_{\nabla \Delta \varphi_3}^2 = m_{\bar{\varphi}_3}^2(i_1, j_1, t) + m_{\bar{\varphi}_3}^2(i_1, j_2, t) + m_{\bar{\varphi}_3}^2(i_2, j_1, t) + m_{\bar{\varphi}_3}^2(i_2, j_2, t),$$

còn giá trị  $m_{\bar{\varphi}_3}$  được tính theo công thức (5.12).

Bây giờ đặt điều kiện lựa chọn góc E sao cho ảnh hưởng của tầng đối lưu đến trị đo phase  $\varphi_3$  nhỏ bỏ qua so với ảnh hưởng của sai số quỹ đạo vệ tinh. Để thoả mãn điều kiện này, từ (5.13) suy ra:

$$m_r \leq \frac{1}{k} \cdot \frac{M}{\sqrt{3}}, \quad (5.14)$$

ở đây hệ số  $k = 3 \div 5$

Chọn  $k = 3$ , từ (5.14) suy ra:

$$m_r \leq \frac{M}{3\sqrt{3}}. \quad (5.15)$$

Gọi  $m_b$  - sai số trung phương của chiều dài cạnh baseline  $b$  trong mạng lưới GPS ở hạng xác định. Khi đó từ (1.2) chúng ta có biểu thức:

$$\frac{M}{\rho} = \frac{m_b}{b}, \quad (5.16)$$

ở đây  $\rho$  - khoảng cách từ các máy thu đến vệ tinh và giá trị  $\rho$  xấp xỉ bằng 20.000.000m.

Khi nhận  $m_T$  bằng giá trị trong (2.18a), từ (5.15) và (5.16) suy ra:

$$F_{\sigma} \cdot (n_0 - 1) \cdot \left[ \sqrt{\frac{\pi \cdot R \cdot h_{trop}}{2}} - R \cdot \operatorname{tg} E \right] \leq \frac{\rho}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{m_b}{b}$$

hay

$$\operatorname{tg} E \geq \sqrt{\frac{\pi \cdot h_{trop}}{2 \cdot R}} - \frac{\rho}{3\sqrt{3} \cdot F_{\sigma} \cdot (n_0 - 1) \cdot R} \cdot \frac{m_b}{b}. \quad (5.17)$$

Công thức (5.17) cho phép xác định ngưỡng của góc  $E$  khi cho trước tỷ số  $\frac{m_b}{b}$  đối với mạng lưới GPS ở hạng xác định.

Nhận  $h_{trop} = 41.600$  m;  $\rho = 20.000.000$  m;  $R = 6378137$  m;  $F_{\sigma} = 1$ ;  $n_0 - 1 = 3,6 \cdot 10^{-4}$ . Khi đó từ (5.17) suy ra:

$$\operatorname{tg} E \geq 0,101218 - 1676,299908 \cdot \frac{m_b}{b}. \quad (5.18)$$

Dựa trên công thức (5.18), chúng ta có bảng sau:

| $\frac{m_b}{b}$ | $E \geq$ |
|-----------------|----------|
| 1:500.000.000   | $5^0,8$  |
| 1:100.000.000   | $5^0,8$  |
| 1:10.000.000    | $5^0,8$  |
| 1:1.000.000     | $5^0,7$  |
| 1:500.000       | $5^0,5$  |
| 1:200.000       | $5^0,3$  |
| 1:100.000       | $4^0,8$  |

Bảng trên cho phép lựa chọn góc ngưỡng vệ tinh  $E$  trong đo đạc GPS độ chính xác cao để xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học. Góc ngưỡng vệ tinh  $E$  là một trong những tiêu chuẩn kỹ thuật quan trọng đối với việc đo đạc GPS để xây dựng các mạng lưới GPS độ chính xác cao trong Hệ tọa độ động học. Vấn đề này chưa được đề cập trong các Quy phạm đo GPS ở

các nước. Việc lựa chọn góc ngưỡng vệ tinh E không nhỏ hơn  $5^\circ$  là sự đảm bảo để xác định hiệu độ cao trắc địa độ chính xác cao trong các mạng lưới GPS các hạng của Hệ tọa độ động học và giảm thiểu ảnh hưởng của sự gần đúng của mô hình tầng đối lưu đến kết quả xử lý dữ liệu đo GPS.

### **§5.3. Xác định các hạng và các tiêu chuẩn kỹ thuật của các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học Quốc gia.**

#### **§5.3. 1. Mạng lưới GPS cơ sở hạng AA.**

Mạng lưới GPS cơ sở bao gồm các trạm thường trực thu tín hiệu vệ tinh GPS liên tục là mạng lưới GPS độ chính xác cao nhất. Mạng lưới này có các chức năng sau:

1. Thực hiện các chức năng của Tổ chức IGS trong việc phát triển mạng lưới IGS phủ trùm trên bề mặt Quả đất;
2. Đảm bảo việc nhận được các tọa độ không gian độ chính xác cao trong khung qui chiếu Quả đất (ITRF) hiện hành nhằm phát triển các mạng lưới GPS các hạng A và B và xác định cơ sở để chuyển đổi Hệ tọa độ động học quốc gia giữa các ITRF khác nhau theo các yêu cầu của công tác đo đạc – bản đồ;
3. Đảm bảo việc kiểm soát sự biến thiên của tầng điện ly để phục vụ công tác nghiên cứu khí tượng thủy văn và các mục đích quốc phòng và cung cấp các thông tin về độ ẩm không khí phục vụ công tác nghiên cứu khí tượng thủy văn.

Khoảng cách trung bình của các điểm hạng AA là 900km. Khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng A kề nhau không vượt quá 1200km, khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 600km.

Đối với mạng lưới GPS hạng AA, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 3,3mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,7mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng AA kề nhau ở mức 1: 300.000.000.

#### **§5.3. 2. Mạng lưới GPS hạng A.**

Mạng lưới GPS hạng A được phát triển từ các điểm của mạng lưới GPS cơ sở hạng AA nhằm thực hiện các nhiệm vụ sau:

1. Xác định dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh độ chính xác cao trên các điểm GPS của mạng lưới này;
2. Xây dựng cơ sở để chuyển đổi Hệ tọa độ động học Quốc gia giữa các Khung qui chiếu Quả đất ITRF-yy:

3. Xây dựng cơ sở để phát triển mạng lưới GPS hạng B và đảm bảo cho việc xác định dị thường độ cao của các điểm hạng B nhờ phương pháp nội suy trọng lực từ các điểm cơ sở hạng A.

Dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh của các điểm hạng A được xác định theo công thức:

$$\zeta_{TCVT} = H - H',$$

ở đây  $H$  - độ cao trắc địa của điểm hạng A,  $H'$  - độ cao chuẩn của điểm hạng A được xác định nhờ đo nối thủy chuẩn Nhà nước vào điểm đó.

Khi bình sai mạng lưới GPS hạng A trong ITRF, độ cao trắc địa  $H$  có sai số trung phương ở mức 5cm. Chúng ta sẽ xem xét hai trường hợp:

**Trường hợp 1.** Nếu đo nối thủy chuẩn hạng I vào các điểm hạng A, thì từ bảng 3.5 ở mục §3.3, chương 3 chúng ta thấy rằng dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh có độ chính xác ở mức 85 mm.

**Trường hợp 2.** Nếu đo nối thủy chuẩn hạng II vào các điểm hạng A, thì từ bảng 3.5 ở mục §3.3, chương 3 chúng ta thấy rằng dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh có độ chính xác ở mức 93mm.

Cả hai trường hợp nêu trên đều được xem xét như là tiêu chuẩn độ chính xác của dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh đối với các điểm hạng A.

Khoảng cách trung bình của các điểm hạng A là 100km. Khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng A kề nhau không vượt quá 130 km, khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 70km. Như vậy có thể chọn các điểm GPS cấp “0” hiện nay của Việt Nam làm mạng lưới GPS hạng A của Hệ tọa độ động học Quốc gia. Điều này sẽ đảm bảo sự kế thừa các thành tựu khoa học- kỹ thuật của lĩnh vực trắc địa – bản đồ Việt Nam trong những năm gần đây trong việc phát triển công nghệ GPS. Tuy nhiên, nếu không thể truyền dẫn thủy chuẩn Nhà nước lên các điểm GPS cấp “0” thì cần phải cấu trúc lại mạng lưới GPS cấp “0” cho phù hợp với nhiệm vụ của mạng lưới hạng A khi lưu ý thực tế rằng yêu cầu đo đạc GPS trên các điểm hạng A cao hơn nhiều so với độ chính xác của mạng lưới cấp “0”.

Các điểm hạng A cần phải trùng với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia.

Khi xây dựng mạng lưới GPS hạng A, thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên một điểm GPS không nhỏ hơn 2 ngày đêm, góc ngưỡng vệ tinh E không nhỏ hơn 5". Khi xử lý dữ liệu đo GPS sử dụng lịch vệ tinh chính xác của tổ chức IGS ở mức độ chính

xác 5 cm và các phần mềm BERNESE, GAMIT hoặc tương đương với sự sử dụng các dữ liệu bổ sung như lịch mặt trăng – mặt trời và các tham số chuyển dịch cực của Quả đất.

Đối với mạng lưới GPS hạng A, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 0,3mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,1mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng A kề nhau ở mức 1 : 250.000.000.

#### **§5.3.3. Mạng lưới GPS hạng B.**

Mạng lưới GPS hạng B được phát triển từ các điểm của mạng lưới GPS hạng A nhằm thực hiện các nhiệm vụ sau:

1. Chém dây dị thường độ cao ra toàn lãnh thổ đất nước và đảm bảo cơ sở của mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao;
2. Xử lý bình sai ghép nối với các mạng lưới thiên văn trắc địa thuộc Hệ tọa độ Quốc gia để nâng cao độ chính xác của mạng lưới này và thiết lập mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học Quốc gia và Hệ tọa độ Quốc gia;
3. Xây dựng cơ sở để phát triển mạng lưới GPS chém dây cấp thấp hơn làm cơ sở đo vẽ bản đồ địa hình bằng công nghệ GPS động và khống chế đo vẽ không ảnh.

Dị thường độ cao của các điểm hạng B được xác định theo phương pháp nội suy trọng lực như nội suy tuyến tính hoặc spline từ các điểm hạng A. Dựa trên kết quả nghiên cứu ở chương 4 có thể thấy rằng phương pháp Spline cho độ chính xác nội suy dị thường độ cao cao hơn so với phương pháp nội suy tuyến tính. Tuy nhiên với mật độ các điểm hạng A ở mức 100km, do yêu cầu số lượng điểm hạng A lớn để nội suy, nên việc áp dụng phương pháp Spline tỏ ra không hiệu quả đối với dải miền Trung Việt Nam. Do đó phương pháp nội suy tuyến tính tỏ ra hiệu quả hơn và chúng ta chấp nhận độ chính xác của giá trị dị thường độ cao được nội suy theo phương pháp này là cơ sở để đánh giá độ chính xác của dị thường độ cao của các điểm hạng B được tính từ các điểm hạng A. Khi đó dị thường độ cao của các điểm hạng B nằm giữa hai điểm hạng A có sai số trung phương không lớn hơn 6cm so với các điểm hạng A.

Việc lựa chọn mật độ của các điểm hạng B bây giờ phải căn cứ trên hai điều kiện:

- a. Số lượng các điểm hạng B không quá lớn để giảm kinh phí xây dựng mạng lưới GPS hạng B;

b. Đảm bảo độ chính xác của dị thường độ cao nội suy của các điểm nằm giữa các điểm hạng B nhằm đáp ứng tất cả các yêu cầu khống chế đo vẽ không ảnh hoặc thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn bằng công nghệ GPS động.

Nếu chúng ta chọn khoảng cách trung bình của các điểm hạng B kề nhau bằng 25km, khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng B kề nhau không vượt quá 30km, khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 15km, thì trong thực tế các điểm hạng B trùng hoàn toàn với các điểm thiên văn – trắc địa của Hệ tọa độ Quốc gia. Như vậy đối với lãnh thổ Quốc gia Việt Nam, số lượng điểm hạng B là 1736 và không đáp ứng điều kiện a.

Để giảm số lượng các điểm hạng B, nên chọn khoảng cách trung bình của các điểm hạng B kề nhau bằng 40km. Với cách lựa chọn này, mật độ các điểm hạng B của Việt Nam trùng với mật độ các điểm GPS hạng I của Liên bang Nga (xem chương 1). Dựa trên Phụ lục 2 chúng ta thấy rằng mật độ các điểm hạng B như trên hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu để áp dụng các phương pháp đo tĩnh nhanh và đo GPS động trong đo đạc-thành lập bản đồ. Như vậy, mạng lưới GPS hạng B của Việt Nam có khoảng cách trung bình giữa các điểm kề nhau bằng 40km, khoảng cách lớn nhất giữa các điểm kề nhau không vượt quá 50km, còn khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 30km. Với khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng B kề nhau không vượt quá 50km, việc nội suy dị thường độ cao của các điểm nằm giữa các điểm hạng B được nội suy từ các điểm hạng B có độ chính xác ở mức 36mm so với các điểm hạng B.

Đối với trường hợp 1, khi chọn độ chính xác dị thường độ cao của các điểm hạng A ở mức 85mm, độ chính xác dị thường độ cao của các điểm hạng B được đánh giá bằng

$$m_{\zeta} = \sqrt{(85\text{mm})^2 + (58\text{mm})^2} = 102\text{mm}.$$

Đối với trường hợp 2, khi chọn độ chính xác dị thường độ cao của các điểm hạng A ở mức 93mm độ chính xác dị thường độ cao của các điểm hạng B được đánh giá bằng

$$m_{\zeta} = \sqrt{(93\text{mm})^2 + (58\text{mm})^2} = 110\text{mm}.$$

Như đã thấy trong chương 4, việc nội suy giá trị dị thường độ cao theo các phương pháp nội suy tuyến tính hoặc spline cho phép làm giảm sai số của thành phần dị thường độ cao  $\zeta_2$  được xác định khi tính đến ảnh hưởng của vùng xa. Khoảng cách giữa hai điểm cơ sở (đã biết dị thường độ cao) càng ngắn thì sai số

của thành phần dị thường độ cao  $\zeta_2$  càng nhỏ. Khi đặt ra bài toán nội suy giá trị dị thường độ cao từ các điểm hạng B để xác định dị thường độ cao của các điểm nằm giữa các điểm hạng B sẽ làm tích lũy thêm sai số xác định mô hình Kvazigeoid do sự xuất hiện thêm sai số trung phương xác định thành phần dị thường độ cao  $\zeta_1$  của các điểm này do tính toán thành phần đó dựa trên dữ liệu trọng lực có trong vùng gần với bán kính  $\psi_0 = 3^\circ$ .

Trong mọi trường hợp, việc nội suy giá trị dị thường độ cao từ các điểm hạng A hoàn toàn đáp ứng yêu cầu xác định mô hình Kvazigeoid ở Việt Nam. Do đó độ chính xác của dị thường độ cao trên các điểm hạng B đặc trưng cho độ chính xác của mô hình Kvazigeoid ở Việt Nam và hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu xác định độ cao chuẩn bằng các thiết bị đo GPS động để thành lập bản đồ địa hình các tỷ lệ cơ bản. Việc xây dựng các mạng lưới GPS hạng B còn nhằm đảm bảo việc ứng dụng các thiết bị đo GPS động để đo đạc - thành lập bản đồ từ các điểm hạng B. Từ bảng 3.5, chương 3 chúng ta thấy rằng khi đo nối thủy chuẩn hạng I vào các điểm hạng A, thì mô hình Kvazigeoid được xây dựng ở Việt nam sẽ có sai số trung phương lớn nhất là 102mm và hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu xác định độ cao chuẩn hạng III bằng công nghệ GPS. Trong trường hợp đo nối thủy chuẩn hạng II vào các điểm hạng A, thì mô hình Kvazigeoid được xây dựng ở Việt nam sẽ có sai số trung phương lớn nhất là 110mm và hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu xác định độ cao chuẩn hạng IV bằng công nghệ GPS.

Để đảm bảo việc thực hiện chức năng “Xử lý bình sai ghép nối với các mạng lưới thiên văn trắc địa thuộc Hệ tọa độ Quốc gia để nâng cao độ chính xác của mạng lưới này và thiết lập mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học Quốc gia và Hệ tọa độ Quốc gia”, *các điểm hạng B phải trùng với các điểm thiên văn – trắc địa hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia*. Mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học Quốc gia và Hệ tọa độ Quốc gia được thể hiện ở việc xác định một cách tin cậy 7 tham số biến đổi tọa độ không gian theo mô hình Bursa – Wolf, thêm vào đó các tham số này là các ẩn số trong bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia. Nhiều kết quả thực nghiệm đã chỉ ra rằng do sai số trong 7 tham số biến đổi tọa độ nêu trên, nên kết quả chuyển tọa độ không gian từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ Quốc gia gây ra sai số vị trí mặt bằng của điểm được chuyển nằm trong khoảng từ 1–2cm.

Khi xây dựng mạng lưới GPS hạng B, thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên một điểm GPS tối đa là 2 ngày đêm và không ít hơn 1 ngày đêm, góc ngưỡng vệ tinh E không nhỏ hơn  $5^\circ$ . Khi xử lý dữ liệu đo GPS sử dụng lịch vệ tinh chính

xác của tổ chức IGS ở mức độ chính xác 5cm và các phần mềm BERNESE, GAMIT hoặc tương đương với sự sử dụng các dữ liệu bổ sung như lịch mặt trăng – mặt trời và các tham số chuyển dịch cực của Quả đất.

Đối với mạng lưới GPS hạng B, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 0,2mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,1mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng B kề nhau ở mức 1: 200.000.000.

Như vậy, theo kết quả nghiên cứu của đề tài này, Hệ tọa độ động học quốc gia bao gồm 3 hạng AA, A và B. Các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học Quốc gia đảm bảo việc xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao và đáp ứng các yêu cầu của việc ứng dụng các công nghệ đo GPS động để thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

Khi xây dựng các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học cần sử dụng máy thu hai tần số và các mạng lưới được xây dựng theo phương pháp đo tĩnh.

Việc thiết lập các mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia sẽ được trình bày trong chương 6.

Việc phát triển các mạng lưới chêm dầy bằng công nghệ GPS dựa trên các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học sẽ được xem xét trong mục §5.4 tiếp theo.

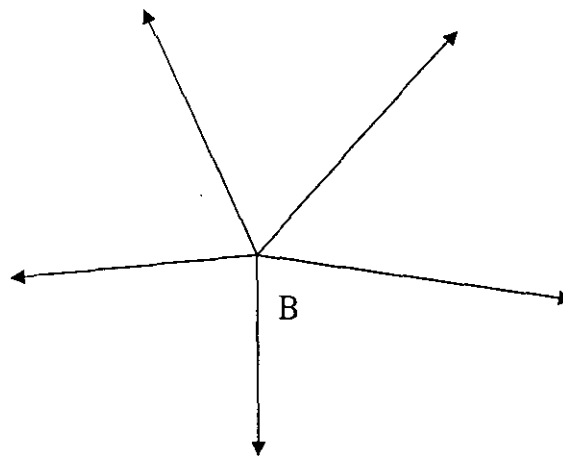
#### **§5.4. Phát triển các mạng lưới chêm dầy dựa trên các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ động học.**

Do các yêu cầu khác nhau của công tác đo đạc–thành lập bản đồ bằng công nghệ GPS thường xuất hiện các nhu cầu sử dụng các máy thu một tần số và áp dụng các phương pháp đo tĩnh nhanh và đo động. Các nhu cầu này nảy sinh trong ba trường hợp điển hình sau: đo đạc chi tiết bằng các thiết bị đo động với các thiết bị truyền tin (radiolink) có tầm hoạt động đến 10km, đo các điểm khống chế ảnh và đo đạc chi tiết bằng các thiết bị đo động với các thiết bị truyền tin (radiolink) có tầm hoạt động đến 5km và xây dựng mạng lưới GPS chêm dầy.

Trong trường hợp đo các điểm khống chế ảnh để thành lập bản đồ tỷ lệ lớn, khoảng cách lớn nhất giữa các điểm khống chế ảnh mặt bằng kề nhau không lớn hơn 3,2km đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/1000, 6,4km - đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/2000 và 16km đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/5000. Khoảng cách lớn

nhất giữa các điểm khống chế ảnh cả mặt bằng lẫn độ cao kề nhau không lớn hơn 1,8km đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/1000, 3,7km - đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/2000 và 9.4km đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1/5000. Trong các trường hợp nêu trên, tùy theo phạm vi, vị trí khu đo và yêu cầu độ chính xác của công tác đo vẽ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn, từ các điểm hạng B chúng ta có thể phát triển các mạng lưới chêm dầy theo phương pháp đo tĩnh bằng các máy thu một tần số hoặc phát triển các điểm khống chế ảnh, các điểm khống chế đo vẽ bằng phương pháp đo tĩnh nhanh hoặc bằng phương pháp đo động.

Sơ đồ của phương pháp đo tĩnh nhanh được thể hiện ở hình dưới đây.



Như đã chứng minh trong mục 3.3, chương 3, độ cao trắc địa của các điểm đo chi tiết bằng phương pháp đo động với máy thu một tần số từ các điểm GPS của Hệ tọa độ động học được xác định với độ chính xác ở mức 6cm. Trong trường hợp tồi nhất khi đo động từ điểm hạng B và sử dụng lịch vệ tinh phát tín (broadcast) với độ chính xác 20m, từ bảng 1.2 và công thức (1.6) chúng ta thấy rằng sai số vị trí mặt bằng tương hỗ của điểm chi tiết so với điểm hạng B ở mức 3 – 4cm khi khoảng cách giữa chúng không vượt quá 10km. Khi áp dụng phương pháp đo động xử lý sau với máy thu hai tần số đối với khoảng cách giữa điểm chi tiết và các điểm của Hệ tọa độ động học không vượt quá 20km, độ chính xác của độ cao trắc địa của điểm chi tiết ở mức 6 cm, còn sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa chúng không vượt quá 4cm.

Như đã trình bày ở trên, kết quả chuyển tọa độ không gian nhờ 7 tham số biến đổi tọa độ gây ra sai số vị trí mặt bằng ở mức 2cm. Khi đó sai số trung phương vị trí mặt bằng của điểm đo chi tiết bằng phương pháp đo GPS động so với các điểm thiên văn trắc địa hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia (sau khi được chuyển về Hệ tọa độ quốc gia) được đánh giá bằng:

$$\sqrt{(2\text{cm})^2 + (4\text{cm})^2} = 4,5\text{cm}.$$

Sai số này nhỏ hơn rất nhiều lần so với việc áp dụng các phương pháp truyền thống (xem công thức 6.2, mục §6.1 chương 6). Điều này một lần nữa chỉ ra sự vượt trội của công nghệ GPS so với phương pháp công nghệ truyền thống khi xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia.

Phương pháp đo động có thể áp dụng để đo chi tiết hoặc xác định các điểm khống chế ảnh. Trong trường hợp đo chi tiết ở các khu đo bị che khuất không thuận lợi cho việc đo GPS có thể sử dụng phương pháp đo động để xây dựng các điểm cơ sở đo vẽ ở những nơi thoáng đãng. Tiếp theo từ các điểm này tiến hành đo chi tiết bằng công nghệ truyền thống. Nếu coi sai số vị trí mặt bằng tương hỗ của đo chi tiết so với điểm cơ sở đo vẽ bằng  $0,1\text{mm}.T$ , ở đây  $T$  – mẫu số tỷ lệ bản đồ cần đo vẽ, thì sai số vị trí mặt bằng tương hỗ của điểm đo chi tiết được xác định bằng phương pháp đo GPS động so với các điểm thiên văn trắc địa hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia được đánh giá bằng:

$$M = \sqrt{(45\text{mm})^2 + (0,1\text{mm}.T)^2}.$$

Với tỷ lệ đo vẽ 1:500, tức  $T = 500$ , từ công thức trên suy ra  $M = 67\text{mm}$ . Sai số này nhỏ hơn 2 lần so với sai số tương ứng nhận được khi sử dụng phương pháp đo đạc truyền thống (xem công thức (6.2), chương 6).

Phương pháp đo tĩnh nhanh có thể áp dụng để xây dựng cơ sở đo vẽ chi tiết hoặc các điểm khống chế ảnh và cho độ chính xác như phương pháp đo động. Điểm khác nhau là phương pháp này có thể được áp dụng để đo trên các khoảng cách lớn hơn 20km và thời gian đo lâu hơn (120 phút). Phương pháp này rất thuận lợi khi đo khống chế ảnh để thành lập bản đồ địa hình, địa chính tỷ lệ trung bình đòi hỏi độ chính xác đo đạc không cao.

Trong trường hợp phải xây dựng mạng lưới chêm dầy giữa các điểm của Hệ tọa độ động học do yêu cầu của công tác đo đạc–thành lập bản đồ hoặc do không có các thiết bị đo động, độ chính xác của các điểm thuộc mạng lưới sẽ được nâng cao hơn so với phương pháp đo động do kết quả bình sai mạng lưới trong Hệ tọa độ động học theo phương pháp bình phương tối thiểu. Các mạng lưới chêm dầy được xây dựng bằng phương pháp đo tĩnh nhờ các máy thu một tần số.

Trong thực tế xây dựng các mạng lưới GPS chêm dầy và đo GPS động hiện nay thường sử dụng lịch vệ tinh phát tín (Broadcast) được xác định trong Hệ

WGS-84 để xử lý các vectơ baseline. Với mục đích xác định độ cao trắc địa độ chính xác cao của các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học cần tính chuyển các vectơ baseline từ Hệ WGS - 84 về Hệ tọa độ động học theo công thức sau:

$$\begin{aligned}\Delta\bar{X}_{ij} &= \Delta X_{ij} + \Delta m \cdot \Delta X_{ij} + \varepsilon_z \cdot \Delta Y_{ij} - \varepsilon_y \cdot \Delta Z_{ij}, \\ \Delta\bar{Y}_{ij} &= \Delta Y_{ij} + \Delta m \cdot \Delta X_{ij} - \varepsilon_z \cdot \Delta X_{ij} - \varepsilon_x \cdot \Delta Z_{ij}, \\ \Delta\bar{Z}_{ij} &= \Delta Z_{ij} + \Delta m \cdot \Delta Z_{ij} + \varepsilon_y \cdot \Delta X_{ij} - \varepsilon_x \cdot \Delta Y_{ij}.\end{aligned}\tag{5.19}$$

ở đây  $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$  - các thành phần của vectơ baseline giữa hai điểm i và j được xác định trong Hệ WGS-84;  $\Delta\bar{X}_{ij}, \Delta\bar{Y}_{ij}, \Delta\bar{Z}_{ij}$  - các thành phần của vectơ baseline giữa hai điểm trên trong Hệ tọa độ động học;  $\Delta m, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  - sự thay đổi tỷ lệ xích và các góc xoay ore giữa Hệ WGS - 84 và Hệ tọa độ động học.

Các tham số  $\Delta m, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  trong (5.19) được xác định trong quá trình xử lý mạng lưới hạng B khi các vectơ baseline của mạng lưới này được xác định trong cả hai hệ tọa độ nói trên.

Hiện nay ở Việt nam đã hoàn thành việc xây dựng các mạng lưới GPS cơ sở bằng công nghệ GPS bao phủ toàn quốc. Khi xử lý các mạng lưới này trong Hệ tọa độ động học quốc gia, chúng ta sẽ đảm bảo cơ sở truyền độ cao trắc địa độ chính xác 5cm ra toàn lãnh thổ và xác định độ cao chuẩn với độ chính xác hạng III (hoặc thủy chuẩn hạng IV) dựa trên mô hình Kvazigeoid được xác định nhờ phương pháp thủy chuẩn vệ tinh - trọng lực trong quá trình xây dựng Hệ tọa độ động học.

### **\$5.5. Hoàn thiện mạng lưới hải văn biển dựa trên Hệ tọa độ động học quốc gia.**

Mạng lưới hải văn biển là mạng lưới GPS chuyên dụng được xây dựng để giải quyết bài toán truyền tọa độ và độ cao từ đất liền ra các hải đảo phục vụ các yêu cầu công tác của các lĩnh vực đo đạc bản đồ và khí tượng thủy văn. Khoảng cách từ các điểm trên đất liền đến các điểm nằm trên các đảo xa bờ trong khoảng từ 56-1514km (xem bảng dưới đây).

| Các điểm GPS đất liền | Các điểm thuộc mạng lưới hải văn biển | Khoảng cách (km) |
|-----------------------|---------------------------------------|------------------|
| HP-MC44<br>1804       | Cô Tô                                 | 62,7             |
|                       | Cô Tô                                 | 105,6            |
|                       | Bạch Long Vĩ                          | 112,0            |
|                       | Hòn Ngư                               | 233,8            |
| HP-MC10<br>1087       | Hòn Ngư                               | 241,4            |
|                       | Bạch Long Vĩ                          | 312,2            |
| 40                    | Cồn Cỏ                                | 94,9             |
|                       | Cồn Cỏ                                | 447,9            |
| 1006                  | Lý Sơn                                | 149,9            |
|                       | Lý Sơn                                | 178,9            |
| 20                    | Trường Sa21                           | 936,6            |
|                       | Trường Sa22                           | 638,3            |
|                       | Trường Sa21                           | 908,6            |
|                       | Trường Sa22                           | 499,2            |
|                       | Phú Quý                               | 196,5            |
|                       | Trường Sa21                           | 1514,0           |
| 1150                  | Trường Sa22                           | 939,1            |
|                       | Phú Quý                               | 579,3            |
|                       | Cồn Đảo                               | 245,2            |
|                       | Cồn Đảo                               | 140,7            |
| 1187                  | Phú Quốc                              | 196,9            |
|                       | Phú Quốc                              | 56,0             |

Như vậy xét cả về mật độ giữa các điểm, bản chất của phương pháp đo truyền tọa độ và độ cao lẫn nhiệm vụ xây dựng mô hình Kvazigeoid chính xác, mạng lưới hải văn biển sẽ không thuộc vào các mạng lưới GPS thuộc Hệ tọa độ động học quốc gia. Tuy nhiên việc xây dựng mạng lưới này dựa trên Hệ tọa độ động học quốc gia sẽ đảm bảo việc xác định tọa độ và độ cao trắc địa độ chính xác cao cho các điểm trên các hải đảo xa bờ. Mạng lưới hải văn biển Việt Nam được Liên hiệp khoa học-sản xuất trắc địa bản đồ thuộc Cục đo đạc và bản đồ (cũ) xây dựng trong giai đoạn 1992-1993 bao gồm 10 điểm trên các hải đảo bao gồm Cô Tô (2801), Bạch Long Vĩ (1802), Hòn Ngư (1001), Cồn Cỏ (8802), Lý Sơn (1901), Trường Sa (21), Trường Sa (22), Phú Quý (1901), Cồn Đảo (1805), Phú Quốc (1801). Việc hoàn thiện cấu trúc của mạng lưới này khi tính đến các yếu tố mới của việc phát triển công nghệ GPS là công việc cần quan tâm trong giai đoạn tới.

Khi phát triển mạng lưới hải văn biển dựa trên Hệ tọa độ động học, với khoảng cách lớn nhất 1514km giữa điểm đất liền và điểm hải đảo và sử dụng lịch vệ tinh chính xác ở mức 5cm trong quá trình xử lý các dữ liệu do GPS, lưu ý các công thức (1.5),(1.6),(3.20) và bảng 1.2, chúng ta nhận được sai số trung phương vị trí tương hỗ mặt bằng M và sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa  $m_{\Delta H}$  lớn nhất của điểm hải đảo so với các điểm đất liền như sau

$$M = 6 \text{ mm} ; m_{\Delta H} = 1 \text{ mm}.$$

Do đó độ chính xác độ cao trắc địa của điểm hải đảo cũng ở mức 5 cm. Việc tồn tại mô hình Kvazigeoid chính xác cao sẽ đảm bảo cho việc xác định độ cao chuẩn độ chính xác cao của các điểm trên các đảo xa.

#### **§5.6. Xác định chu kỳ đo lặp Hệ tọa độ động học quốc gia.**

Giả thiết rằng hệ tọa độ động học quốc gia được xây dựng vào thời điểm  $t_1$  dựa trên ITRF-yy1. Sau một khoảng thời gian nhất định, giả sử  $\Delta t = t_2 - t_1$ , do sự thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất, vị trí của tâm ellipsoid chung Quả đất thay đổi so với tâm vật chất Quả đất đi các đại lượng  $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$  tương ứng với các trục tọa độ OX,OY,OZ. Khi đó dựa trên công thức (1.2) có thể thấy rằng độ cao trắc địa của một điểm tương ứng với ellipsoid chung Quả đất sẽ thay đổi đi một đại lượng:

$$\Delta \delta H = \cos B \cdot \cos L \cdot \delta x_0 + \cos B \cdot \sin L \cdot \delta y_0 + \sin B \cdot \delta z_0.$$

Đại lượng  $\Delta \delta H$  đặc trưng cho sai số của độ cao trắc địa được gây ra do sự thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất tương ứng với tâm ellipsoid chung Quả đất với tốc độ p, thêm vào đó

$$p = \sqrt{\delta x_0^2 + \delta y_0^2 + \delta z_0^2}.$$

Để đánh giá ước tính chúng ta coi  $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$  là các đại lượng trung phương trung bình đặc trưng cho các thay đổi vị trí của tâm vật chất của Quả đất trong khoảng thời gian  $\Delta t = t_2 - t_1$ , thêm vào đó  $\delta x_0 = \delta y_0 = \delta z_0$ . Khi đó

$$\delta x_0 = \frac{p}{\sqrt{3}},$$

và đại lượng trung phương trung bình của sự thay đổi độ cao trắc địa được đánh giá theo công thức:

$$\overline{\Delta \delta H} = \delta x_0 = \frac{p}{\sqrt{3}}.$$

Do độ chính xác của độ cao trắc địa được đặc trưng bởi đại lượng 5 cm = 50 mm, nên đại lượng  $\overline{\Delta\delta H}$  được coi là nhỏ bỏ qua khi

$$\overline{\Delta\delta H} = \frac{p}{\sqrt{3}} \leq \frac{50\text{mm}}{5} = 10\text{mm}.$$

Khi chấp nhận tốc độ thay đổi vị trí của tâm vật chất Quả đất bằng 2mm/1năm, đại lượng  $p = 2\text{mm}.\Delta t$ . Do đó

$$\Delta t \leq 5.\sqrt{3} \approx 8 \text{ năm}.$$

Như vậy sau 8 năm cần tiến hành đo lặp lại Hệ tọa độ động học quốc gia và tính toán lại Hệ tọa độ động học trong ITRF mới nhất. Kết quả nghiên cứu ở trên cũng trùng với quy định đo lặp Hệ tọa độ động học của Liên bang Nga được trình bày ở mục §1.6, chương 1.

## **CHƯƠNG 6. XÁC ĐỊNH CÁC MỐI QUAN HỆ GIỮA HỆ TOA ĐỘ ĐÔNG HỌC VÀ HỆ TOA ĐỘ QUỐC GIA.**

### **§6.1. Các vấn đề khoa học – kỹ thuật đặc trưng cho Hệ tọa độ mặt bằng và Hệ độ cao Quốc gia.**

Trước cuối thế kỷ XIX, các mạng lưới trắc địa được xây dựng chủ yếu để xây dựng các cung kinh tuyến và vĩ tuyến phục vụ việc giải quyết bài toán xác định hình dáng và kích thước của Quả đất. Đến đầu thế kỷ XX, mạng lưới trắc địa có thêm chức năng cơ bản mới là xác định các cơ sở khống chế để phục vụ việc đo vẽ bản đồ địa hình, địa chính các tỷ lệ. Bài toán xác định hình dạng, kích thước và trọng trường ngoài của Quả đất hiện nay được giải quyết chủ yếu dựa trên các lĩnh vực trắc địa vũ trụ và trọng lực.

Hệ tọa độ Quốc gia bao gồm các mạng lưới trắc địa cơ bản Nhà nước (các mạng lưới thiên văn – trắc địa hạng I, II và các mạng trắc địa mặt bằng hạng III, IV) và các mạng lưới khống chế đo vẽ (giải tích cấp 1, 2; kinh vĩ 1, 2). Các mạng lưới trắc địa thuộc Hệ tọa độ Quốc gia thường có dạng lưới tam giác và đường chuyền với các dạng trị đo cơ bản là các trị đo hướng, cạnh đáy, góc và cạnh đo. Hệ tọa độ Quốc gia được xây dựng trên cơ sở giải quyết bài toán định vị ellipsoid thực dụng với kích thước được chọn sao cho phù hợp nhất với lãnh thổ Quốc gia, thêm vào đó trong quá trình giải quyết bài toán này yêu cầu sử dụng đồng bộ các dữ liệu thiên văn – trắc địa, trọng lực, vệ tinh và thủy chuẩn hiện có trên lãnh thổ Quốc gia.

Hiện nay, mặc dù công nghệ GPS được áp dụng rất phổ biến trong công tác đo đạc–thành lập bản đồ, Hệ tọa độ Quốc gia vẫn là cơ sở duy nhất để phát triển các mạng lưới khống chế đo vẽ theo phương pháp truyền thống và thành lập bản đồ địa hình, địa chính các tỷ lệ. Bằng công nghệ GPS có thể xây dựng các mạng lưới khống chế đo vẽ và sử dụng các thiết bị đo động để đo đạc chi tiết. Tuy nhiên các kết quả tính toán bắt buộc phải chuyển về Hệ tọa độ Quốc gia để phục vụ cho các yêu cầu của việc đo đạc – thành lập bản đồ trong Hệ tọa độ này.

Tiêu chuẩn kỹ thuật độ chính xác các trị đo của mỗi mạng lưới trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia được xây dựng dựa trên một tiêu chuẩn rất quan trọng: sai số vị trí tương hỗ giữa hai điểm kề nhau sau bình sai xấp xỉ bằng 6 cm [8, c. 87]. Chúng ta sẽ xem xét sai số trung phương  $M$  của vị trí điểm chi tiết khi đo vẽ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500 so với các điểm tam giác hạng I Nhà nước. Gọi  $M_g$  - sai số trung phương vị trí điểm cơ sở đo vẽ (kinh vĩ 2) so với các

điểm tam giác hạng I,  $M_{CT}$  - sai số trung phương vị trí điểm chi tiết so với các điểm cơ sở đo vẽ (kính vĩ 2). Khi đó:

$$M^2 = M_g^2 + M_{CT}^2. \quad (6.1)$$

Do  $M_g = m \cdot \sqrt{n}$ ,  $M_{CT} = 0,1\text{mm}$ . T, ở đây  $m$  - sai số trung phương vị trí điểm tương hỗ của các điểm hạng (cấp)  $i + 1$  so với các điểm hạng (cấp) cao hơn  $i$ ;  $n$  - tổng số bậc các cấp hạng lưới từ hạng I cho đến kính vĩ 2;  $T$  - mẫu số của tỷ lệ bản đồ địa hình cần thành lập. Nhận  $m = 60\text{mm}$ ;  $n = 7$ ;  $T = 500$ , từ (6.1) suy ra:

$$M = 159 \text{ mm}, \quad (6.2)$$

tức sai số trung phương  $M$  của vị trí điểm chi tiết khi đo vẽ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500 so với các điểm tam giác hạng I Nhà nước ở mức 0,3mm. T.

Sai số trung phương  $M$  của vị trí điểm chi tiết khi đo vẽ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:1000 cũng có giá trị như trong (6.2), tức so với các điểm tam giác hạng I Nhà nước ở mức 0,15mm. T.

Các Quy phạm đo vẽ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn hiện nay qui định rằng sai số trung phương  $M$  của vị trí điểm chi tiết ở mức 0,2mm. T đối với vùng bằng phẳng và ở mức 0,3mm. T đối với vùng bị che khuất. Như vậy, Hệ tọa độ Quốc gia được xây dựng theo phương pháp truyền thống hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu thành lập bản đồ địa hình và địa chính tỷ lệ lớn từ 1: 500 đến 1: 5000.

Hệ độ cao Nhà nước bao gồm các mạng lưới thủy chuẩn hạng I, II, III và IV. Mạng lưới thủy chuẩn chêm dầy được xây dựng dưới dạng các tuyến thủy chuẩn kỹ thuật. Độ cao chuẩn của các điểm chi tiết được xác định từ các mốc thủy chuẩn kỹ thuật hoặc các mốc thủy chuẩn Nhà nước. Độ chính xác cho phép của độ cao chuẩn của các điểm chi tiết theo các tỷ lệ bản đồ địa hình cần thành lập được đánh giá trong Bảng 3.3 ở Chương 3.

Trong các phương pháp xây dựng các mạng lưới trắc địa truyền thống, Hệ tọa độ và Hệ độ cao Quốc gia được xây dựng độc lập đối với nhau.

Việc phát triển Hệ tọa độ động học bằng công nghệ GPS là bước tiến quan trọng trong việc hình thành Hệ tọa độ ba chiều, trong đó xác định đồng thời cả vị trí tọa độ mặt bằng lẫn độ cao bằng công nghệ GPS. Tuy nhiên, Hệ tọa độ và Hệ độ cao Quốc gia vẫn luôn là các cơ sở đảm bảo trắc địa cho công tác đo đạc thành lập bản đồ địa hình, địa chính của đất nước.

Đến đây chúng ta sẽ xem xét hai xu hướng xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia hiện nay.

**Xu hướng 1.** Xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia dựa trên khung qui chiếu Quả đất (ITRF – yy) xác định.

Xu hướng này cho phép sử dụng toàn bộ thành quả phát triển khung qui chiếu Quả đất trong việc hoàn thiện thường xuyên Hệ tọa độ Quốc gia. Bản thân Tổ chức IGS thường xuyên cung cấp các tham số để chuyển tọa độ không gian từ khung qui chiếu Quả đất mới nhất về khung qui chiếu Quả đất mà dựa vào đó đã xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia. Đây là xu hướng xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia cấp tiến nhất. Ví dụ Trung Quốc đã xây dựng Hệ tọa độ Bắc Kinh 1995 dựa trên ITRF – 91.

**Xu hướng 2.** Xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia độc lập với khung qui chiếu Quả đất (ITRF – yy).

Theo truyền thống xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia, phần lớn các Quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam, đi theo xu hướng này.

Khi đó, để sử dụng các thành quả phát triển khung qui chiếu Quả đất nảy sinh hàng loạt bài toán khoa học – kỹ thuật bao gồm:

1. Làm chính xác hoá các tham số định vị Hệ tọa độ Quốc gia và tọa độ các điểm của các mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia dựa trên Hệ tọa độ động học;

2. Xác định các tham số chuyển tọa độ từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ Quốc gia đảm bảo cho việc ứng dụng công nghệ GPS để đo đạc thành lập bản đồ trong Hệ tọa độ Quốc gia.

Bởi vì bản thân Hệ tọa độ động học được hiệu chỉnh thường xuyên theo chu kỳ do tính đến sự biến thiên của các tham số địa động học đặc trưng cho Quả đất, nên các bài toán nêu trên cũng thường xuyên được giải quyết một cách tương ứng, thêm vào đó việc thiết lập mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia cho phép hoàn thiện không ngừng Hệ tọa độ Quốc gia dựa trên các thành tựu mới trong việc phát triển khung qui chiếu Quả đất và đạt tới mục tiêu xây dựng Hệ tọa độ Quốc gia ba chiều.

Mục §6.2 sẽ xem xét việc giải quyết các bài toán nêu trên dựa trên cơ sở phương pháp bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia.

## 6.2. Xác định các mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ

### Quốc gia.

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của Hệ tọa độ động học là đảm bảo cơ sở cho việc ứng dụng các thiết bị đo GPS động để đo đạc chi tiết, trong đó xác định cả vị trí mặt bằng lẫn độ cao chuẩn với độ chính xác thỏa mãn yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. Tuy nhiên, do Hệ tọa độ động học được xây dựng trong khung qui chiếu Quả đất (ITRF – yy) xác định, nên vị trí mặt bằng của điểm chi tiết cũng được xác định trong khung qui chiếu Quả đất đó. Các kết quả xác định tọa độ điểm chi tiết trong ITRF-yy cần chuyển tiếp theo về Hệ tọa độ Quốc gia để thành lập bản đồ.

Bài toán thực tế nảy sinh là xác định một cách tin cậy 7 tham số  $X_0, Y_0, Z_0, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \Delta m$  của mô hình **BURSA – WOLF** để chuyển tọa độ không gian hoặc tọa độ trắc địa B, L, H từ ITRF-yy về Hệ tọa độ Quốc gia, ở đây  $X_0, Y_0, Z_0$  – tọa độ điểm gốc của ITRF - yy trong Hệ tọa độ Quốc gia;  $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$  – các góc xoay O Le;  $\Delta m$  – sự thay đổi tỷ lệ xích khi chuyển tọa độ từ ITRF-yy về Hệ tọa độ Quốc gia.

Bởi vì các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học trùng với các điểm của các mạng lưới thiên văn – trắc địa hạng I, II Nhà nước, nên để xác định mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia cần giải quyết đồng thời hai bài toán đã trình bày ở mục §6.1 thông qua một quá trình được gọi là “*Bình sai ghép nối các mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia*”. Các dữ liệu mặt đất được sử dụng trong quá trình nêu trên là các kết quả bình sai riêng rẽ của mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia.

Khi giải quyết hai bài toán nêu trên, chúng ta sẽ xác định được một cách tin cậy 7 tham số  $X_0, Y_0, Z_0, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \Delta m$  của mô hình **BURSA – WOLF**, thêm vào đó các tham số này sẽ xác định mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia.

Không mấy khó khăn để nhận thấy rằng độ chính xác của tọa độ điểm chi tiết được chuyển từ ITRF-yy về Hệ tọa độ Quốc gia thông qua 7 tham số của mô hình **BURSA – WOLF** nêu ở trên sẽ được xác định tương ứng với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa hạng I, II Nhà nước. Điều này phù hợp với các yêu cầu độ chính xác đo đạc chi tiết đã nêu ở mục § 6.1.

Ngoài ra khi xác định cách tin cậy 7 tham số nêu trên, chúng ta có thể thực hiện chuyển đổi chính xác mô hình Geoid (hoặc Kvazigeoid) từ Hệ tọa độ này (Hệ tọa độ 1) sang Hệ tọa độ kia (Hệ tọa độ 2) theo công thức sau:

$$\begin{aligned} \zeta_2 = & \zeta_1 + \cos B.\cos L.X_0 + \cos B.\sin L.Y_0 + \sin B.Z_0 - \\ & - e^2.N.\sin B.\cos B.\sin L.\varepsilon_x + e^2.N.\sin B.\cos B.\cos L.\varepsilon_y + \\ & + (N + H_1 - e^2.N.\sin^2 B).\Delta m \end{aligned} \quad (6.3)$$

Sau khi thực hiện xong nhiệm vụ xây dựng mô hình Geoid (hoặc Kvazigeoid) chính xác trong Hệ tọa độ động học, chúng ta sử dụng công thức (6.3) để chuyển mô hình nêu trên về Hệ tọa độ Quốc gia.

Các mục tiếp theo của chương này sẽ xem xét cơ sở khoa học của việc giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia.

### **\$6.3. Bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia [80, 82, 83].**

#### **\$6.3.1. Đặt vấn đề.**

Mạng lưới GPS hạng C trong Hệ tọa độ động học có mật độ lớn các điểm chung với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa hạng I, II của Hệ tọa độ Quốc gia, thêm vào đó một điểm chung của mạng lưới này trùng với điểm gốc của Hệ tọa độ Quốc gia. Mạng lưới này được sử dụng để giải quyết bài toán bình sai ghép nối với Hệ tọa độ Quốc gia.

Thuật ngữ “**điểm chung**” được sử dụng để chỉ điểm có các tọa độ ellipsoid trong cả Hệ tọa độ Quốc gia lẫn Hệ tọa độ động học. Ngoài ra chúng ta sẽ thường xuyên sử dụng thuật ngữ “**điểm bên trong**” để chỉ các điểm của mạng lưới thiên văn - trắc địa không trùng với các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học.

Bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia được đặt ra nhằm giải quyết hai bài toán khoa học – kỹ thuật đã trình bày ở mục \$6.1.

Các tham số cần tìm trong bài toán bình sai ghép nối nêu trên là các tọa độ ellipsoid B, L, H của tất cả các điểm chung, trong đó có điểm gốc của Hệ tọa độ Quốc gia. Khi đưa thêm dữ liệu GPS vào bình sai chung với các dữ liệu thiên văn – trắc địa xuất hiện một số lượng lớn các trị đo dư độ chính xác cao. Điều này sẽ góp phần làm nâng cao độ chính xác của tham số cần tìm trong bài toán bình sai [80]. Đây chính là cơ sở của việc nghiên cứu các phương pháp giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia.

Các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học được bình sai một cách riêng rẽ theo từng hạng, thêm vào đó các điểm GPS hạng cao hơn được chọn làm các điểm gốc để bình sai mạng lưới GPS hạng thấp hơn. Tuy nhiên đối với bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia việc bình sai các mạng lưới GPS hoàn toàn không tuân theo trình tự nêu ở trên. Yếu tố quan trọng nhất để nâng cao độ chính xác của các tọa độ ellipsoid  $B, L, H$  của tất cả các điểm thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia là các tọa độ ellipsoid  $\bar{B}, \bar{L}, \bar{H}$  của tất cả các điểm GPS và các ma trận liên hệ  $K_{\bar{B}, \bar{L}, \bar{H}}$  của chúng trong Hệ tọa độ động học. Do đó để cung cấp thông tin tiên nghiệm cho bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia cần bình sai chung tất cả các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học hoặc bình sai mạng lưới GPS hạng .... trong Hệ tọa độ động học theo phương pháp bình sai có tính đến sai số số liệu gốc.

Chúng ta xem xét ba trường hợp lựa chọn các điểm gốc để bình sai các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học.

**Trường hợp 1.** Các điểm GPS hạng A là các điểm thuộc mạng lưới IGS, thêm vào đó các điểm này không trùng với bất cứ điểm nào thuộc mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia.

Đối với trường hợp này, sau khi bình sai mạng lưới GPS hạng A coi các điểm GPS hạng A là các điểm cứng (không có sai số số liệu gốc) để bình sai chung tất cả các mạng lưới GPS ở các hạng còn lại trong Hệ tọa độ động học.

**Trường hợp 2.** Các điểm GPS hạng A là các điểm thuộc mạng lưới IGS, thêm vào đó các điểm này trùng với các điểm thuộc mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia.

Đối với trường hợp này, sau khi bình sai mạng lưới GPS hạng A coi các điểm GPS hạng A là các điểm khởi tính có sai số số liệu gốc để bình sai chung tất cả các mạng lưới GPS hạng B trong Hệ tọa độ động học.

**Trường hợp 3.** Các điểm GPS hạng A không thuộc mạng lưới IGS, thêm vào đó các điểm này có ít nhất một điểm trùng với các điểm thuộc mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia và tọa độ của điểm này được tính truyền từ mạng lưới IGS. Điểm trùng nêu trên được gọi là điểm gốc của Hệ tọa độ động học quốc gia.

Đối với trường hợp này, khi bình sai chung tất cả các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học định vị tạm thời điểm gốc của Hệ tọa độ động học là

điểm cứng. Việc loại bỏ tự động việc định vị tạm thời điểm gốc sẽ được chứng minh ở phần C của mục này.

Để bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia cần tiến hành bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia. Với mục đích làm chính xác tọa độ điểm gốc của Hệ tọa độ Quốc gia cần bình sai mạng lưới này theo phương pháp bình sai có tính đến sai số số liệu gốc, ở đây sai số số liệu gốc là sai số tọa độ điểm gốc.

Các phương trình số cải chính tương ứng với mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia và các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học có dạng như sau:

$$V_t = A_1 \cdot dx_1 + A_2 \cdot dx_2 + L_t, \quad P_t; \quad (6.4)$$

$$V_s = B \cdot dX + L_s, \quad P_s, \quad (6.5)$$

ở đây  $dx_1$  và  $dx_2$  là các vectơ ắn số (các số cải chính vào tọa độ trắc địa B, L gần đúng) tương ứng các điểm bên trong và các điểm chung của mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia;  $dX$  – vectơ số cải chính tọa độ không gian của tất cả các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học;  $P_t$  và  $P_s$  - các ma trận trọng số tương ứng với các hệ (6.4) và (6.5).

Khi bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia, hệ (6.4) được lập trên mặt ellipsoid thực dụng được chọn để xây dựng Hệ tọa độ này. Khi bình sai riêng rẽ các mạng lưới GPS, hệ (6.5) được lập trong Hệ tọa độ không gian tương ứng với Hệ tọa độ động học.

Đến đây, chúng ta sẽ xem xét một số phương pháp bình sai hỗn hợp mạng lưới GPS và mạng lưới thiên văn – trắc địa.

Phương pháp thứ nhất thực hiện việc biến đổi các số gia tọa độ  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  của baseline trong mạng lưới GPS thành các trị đo cạnh  $S$ , phương vị  $A$  và hiệu độ cao trắc địa  $\Delta H$ . Các trị đo này được qui chiếu tiếp theo lên các mặt toán học (ellipsoid, mặt phẳng) để bình sai cùng với mạng lưới thiên văn - trắc địa trong Hệ tọa độ quốc gia.

Mặc dù hoàn toàn giải quyết được các vấn đề thực tế, nhưng phương pháp này chứa đựng những yếu tố không thể coi là hiệu quả được:

- Bắt buộc phải qui chiếu các trị đo cạnh  $S$  và phương vị  $A$  lên mặt toán học để tính toán bình sai;

- Phức tạp về mặt thuật toán tính toán do phải tính đến sự tương quan mạnh giữa các trị đo  $S$ ,  $A$  và  $\Delta H$ . Theo kết quả nghiên cứu trong [81], hệ số tương quan giữa cạnh và phương vị  $r_{S,A}$  nằm trong khoảng  $0,6 \div 0,8$ .

- Khi bình sai chung với mạng lưới thiên văn - trắc địa mặt đất được xây dựng theo phương pháp truyền thống phải giải quyết vấn đề phức tạp liên quan đến việc lựa chọn trọng số của các trị đo.

**Modul Trimnet Plus** được thành lập theo phương pháp này [ 63 ].

Phương pháp thứ hai được xây dựng trên cơ sở bình sai ghép nối mạng lưới GPS với các dữ liệu mặt đất trên cơ sở bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa và mạng lưới GPS và sử dụng các kết quả bình sai để ghép nối tiếp theo mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia. Phương pháp thứ hai cho phép khắc phục được tất cả các nhược điểm của phương pháp thứ nhất và được đề xuất trong [80]. Trong phần B của mục này sẽ nghiên cứu thuật toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia.

Giả thiết rằng khi bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa chúng ta giải hệ phương trình (6.4) theo phương pháp bình phương tối thiểu dựa trên thuật toán Choleski hoặc thuật toán bình sai truy hồi có sử dụng phép biến đổi xoay (thuật toán T) [88]. Khi đó kết quả bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ Quốc gia bao gồm:

- Ma trận biến đổi tam giác trên

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & \vdots & T_{12} \\ \cdots & \ddots & \cdots \\ 0 & \vdots & T_{22} \end{bmatrix}. \quad (6.6)$$

- Vector số hạng tự do được biến đổi

$$Y = (Y_1 \quad \vdots \quad Y_2)^T. \quad (6.7)$$

- Các vector tọa độ trắc địa bình sai  $X_1$  và  $X_2$  tương ứng với các điểm bên trong và các điểm chung.

-  $\mu$  - Sai số trung phương đơn vị trọng số sau bình sai.

- Trọng số đảo  $Q_F$  của hàm F cần đánh giá.

$$\text{Vector } X_2 \text{ và ma trận liên hệ của nó } K_2 = \mu^2 \cdot Q_2, \quad (6.8)$$

$$\text{ở đây } Q_2 = T_{22}^{-1} \cdot T_{22}^{-T},$$

được sử dụng để giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia.

Các ma trận khối  $T_{11}$  và  $T_{12}$  trong (6.6) và vectơ con  $Y_1$  trong (6.7) sẽ được sử dụng tiếp theo để hiệu chỉnh vectơ tọa độ  $X_1$  của các điểm bên trong của mạng lưới thiên văn – trắc địa sau khi giải quyết xong bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia. Vấn đề này sẽ được xem xét trong phần B của mục này.

Khi bình sai riêng rẽ mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học nhận các thành phần của véc tơ Baseline bao gồm các số gia tọa độ không gian  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  và ma trận tương quan  $K^{3 \times 3}_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$  làm các trị đo và lập hệ phương trình số cải chính (6.5). Kết quả bình sai bao gồm:

$\bar{X}$  (6.9) - Véc tơ tọa độ không gian bình sai của các điểm GPS trong Hệ tọa độ động học ;

$$K_{\bar{X}} = \mu_s \cdot Q_{\bar{X}} \quad - \text{Ma trận liên hệ của nó với bậc } K \times K, \quad (6.10)$$

ở đây  $K = 3 \cdot N$  – tổng số ẩn số;  $N$  - tổng số điểm GPS cần xác định;  $\mu_s$  – sai số trung phương đơn vị trọng số sau bình sai;  $Q_{\bar{X}} = (B^T P_s B)^{-1}$  - ma trận trọng số đảo của các ẩn số (véc tơ  $\bar{X}$ ).

Kết quả bình sai nêu trên sẽ được sử dụng tiếp theo để bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia.

Qui trình chung của bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia bao gồm 4 bước sau:

**Bước 1:** Coi các số gia tọa độ không gian của các véc tơ Baseline tạo nên mạng lưới GPS làm các trị đo để bình sai mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học.

**Bước 2:** Bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn - trắc địa trong Hệ tọa độ quốc gia trên mặt ellipsoid thực dụng theo phương pháp bình sai có tính đến sai số số liệu gốc. Điều này cho phép làm chính xác số liệu tọa độ gốc của Hệ tọa độ Quốc gia khi thực hiện bước 3;

**Bước 3:** Dựa trên tọa độ các điểm chung trong cả Hệ tọa độ quốc gia lẫn Hệ tọa độ động học xác định các giá trị gần đúng của 7 tham số chuyển đổi tọa độ từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ Quốc gia; thực hiện việc chuyển đổi các kết quả bình sai mạng lưới GPS ở bước 1 về Hệ tọa độ Quốc gia và tiến hành bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia;

**Bước 4:** Dựa trên kết quả bình sai ghép nối ở bước 3 thực hiện việc hiệu chỉnh tọa độ của các điểm bên trong của mạng lưới thiên văn - trắc địa trong Hệ tọa độ quốc gia.

Trong các phần tiếp theo chúng ta chỉ xem xét một số vấn đề liên quan đến thuật toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia; chứng minh sự loại bỏ tự động định vị tạm thời điểm gốc của mạng lưới GPS sau khi bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia và thuật toán hiệu chỉnh tọa độ bên trong của mạng lưới thiên văn - trắc địa dựa vào kết quả bình sai ghép nối.

### **§6.3.2. Thuật toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ quốc gia.**

#### **1. Mô hình toán học bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ quốc gia.**

Sau khi xác định được các giá trị của 7 tham số chuyển đổi tọa độ không gian  $\bar{X}$  (6.9) từ Hệ tọa độ động học về Hệ tọa độ quốc gia từ bước 3, phần A của mục này, thực hiện chuyển véc tơ  $\bar{X}$  về Hệ tọa độ quốc gia và chuyển đổi tiếp theo về véc tơ tọa độ elipsoid  $\bar{B}, \bar{L}, \bar{H}$ . Gọi  $\tau$  - véc tơ tọa độ elipsoid  $\bar{B}, \bar{L}, \bar{H}$  của các điểm GPS đã được tính chuyển về Hệ tọa độ quốc gia, thêm vào đó

$$\tau^{K \times 1} = \begin{pmatrix} \tau_1^{K1 \times 1} \\ \dots \\ \tau_2 \end{pmatrix},$$

ở đây  $\tau_1$  - véc tơ con của tọa độ ellipsoid tương ứng với các điểm chung;  $K1$  - số lượng các ẩn số chung. Để tiện chứng minh tiếp theo chúng ta đặt  $\tau_1$  lên vị trí đầu tiên.

Việc chuyển ma trận liên hệ  $K_{\bar{X}}$  (6.10) về Hệ tọa độ Quốc gia được thực hiện theo công thức sau:

$$K_X = \theta \cdot K_{\bar{X}} \cdot \theta^T,$$

ở đây  $\theta$  - ma trận đường chéo khối bậc  $K$  với khối  $\theta_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) có dạng:

$$\theta_i = (1 + \Delta m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{pmatrix};$$

ở đây góc Ole  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  được biểu diễn trong đơn vị Radian.

Do các góc  $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$  có giá trị một vài giây, nên khi chuyển qua đơn vị Radian nhỏ bỏ qua, còn sự thay đổi tỷ lệ xích  $\Delta m$  nhỏ bậc  $10^{-6}$ , nên thực tế coi  $\theta_i = E_{3 \times 3}$ , ở đây E - ma trận đơn vị bậc 3. Do đó trong thực tế coi  $K_X = K_{\bar{X}}$ .

Khi chuyển  $K_{\bar{X}}$  xuống ellipsoid thực dụng, để tiện cho chứng minh tiếp theo, thay cho  $K_{\bar{X}}$  (6.10) chúng ta sẽ xem xét việc chuyển ma trận  $R_{\bar{X}} = Q_{\bar{X}}^{-1}$ .

Khi đó

$$R_S^e = F^T \cdot R_{\bar{X}} \cdot F, \quad (6.11)$$

ở đây F - ma trận đường chéo khối với khối  $F_i (i = \overline{1, N})$  có dạng sau:

$$F_i = \begin{bmatrix} -(M_i + H_i) \cdot \sin B_i \cdot \cos L_i & -(N_i + H_i) \cdot \cos B_i \cdot \sin L_i & \cos B_i \cdot \cos L_i \\ -(M_i + H_i) \cdot \sin B_i \cdot \sin L_i & (N_i + H_i) \cdot \cos B_i \cdot \cos L_i & \cos B_i \cdot \sin L_i \\ (M_i + H_i) \cdot \cos B_i & 0 & \sin B_i \end{bmatrix}. \quad (6.12)$$

Vectơ  $X_2$  và ma trận liên hệ của nó  $K_2 = \mu^2 \cdot Q_2$  trong (6.8) tương ứng với các tọa độ trắc địa B, L của các điểm chung trong Hệ tọa độ Quốc gia. Trên các điểm chung luôn có các độ cao trắc địa H và các sai số trung phương của chúng được xác định từ kết quả định vị ellipsoid thực dụng hoặc từ kết quả bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia từ trước. Do đó từ các kết quả nêu trên có thể xác định được vectơ tọa độ ellipsoid t và ma trận liên hệ của nó  $K_t$  hệ bậc  $K1 \times K1$  tương ứng với các điểm chung thuộc Hệ tọa độ Quốc gia.

Mô hình bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ quốc gia có dạng sau [80]:

$$\begin{aligned} \bar{V}_t &= d\tau_1^{K1 \times 1}, \quad \bar{P}_t = \mu_s^2 \cdot K_t^{-1} \\ \bar{V}_S^{K \times 1} &= d\tau^{K \times 1} - G_S \cdot \Delta W + L_S, \quad \bar{P}_S = R_S^e, \end{aligned} \quad (6.13)$$

ở đây  $R_S^e$  tính theo công thức (6.11); số hạng tự do

$$L_S = \begin{pmatrix} t - \tau_1 \\ \dots\dots\dots \\ 0 \end{pmatrix},$$

ở đây ma trận  $G_S$  có dạng:

$$G_S = [G_1 \vdots G_2 \vdots \dots \vdots G_N]^T, \quad (6.14)$$

thêm vào đó khối  $G_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) có dạng:

$$G_i = \begin{bmatrix} -\frac{\sin B_i \cdot \cos L_i}{M_i + H_i} & -\frac{\sin B_i \cdot \sin L_i}{M_i + H_i} & \frac{\cos B_i}{M_i + H_i} \\ -\sec B_i \cdot \sin L_i & \sec B_i \cdot \cos L_i & 0 \\ \frac{N_i + H_i}{\cos B_i \cdot \cos L_i} & \frac{N_i + H_i}{\cos B_i \cdot \sin L_i} & \sin B_i \end{bmatrix}, \quad (6.15)$$

$\Delta W = [\delta_{x_0} \ \delta_{y_0} \ \delta_{z_0}]^T$  - véc tơ các sai số hệ thống trong toạ độ ellipsoid được gây ra bởi sai số trong 7 tham số biến đổi toạ độ từ Hệ toạ độ động học về Hệ toạ độ quốc gia theo mô hình Bursa-Wolf.

## **2. Thuật toán triển khai mô hình toán học bình sai ghép nối mạng lưới GPS trong Hệ toạ độ quốc gia [80].**

Khi bình sai mạng lưới GPS trong Hệ toạ độ động học chúng ta áp dụng phương pháp bình sai truy hồi với phép biến đổi xoay hoặc áp dụng phương pháp Choleski để giải hệ phương trình chuẩn. Khi đó, chúng ta sẽ nhận được ma trận tam giác trên  $T_S$  liên hệ với ma trận chuẩn  $R_S^e$  theo công thức  $R_S^e = T_S^T \cdot T_S$ . Khi đó đặt:

$$\overline{T}_S = T_S \cdot F, \quad (6.16)$$

từ (VI.11) suy ra:

$$R_S^e = \overline{T}_S^T \cdot \overline{T}_S. \quad (6.17)$$

Vấn đề đặt ra là khi bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn – trắc địa trong Hệ toạ độ Quốc gia và mạng lưới GPS trong Hệ toạ độ động học, chúng ta nhận được các ma trận tam giác trên  $T$  (6.6) và  $T_S$  một cách tương ứng, thêm vào đó các ma trận này được lưu giữ trong sơ đồ của kỹ thuật ma trận thưa (bảng, profile). Do đó để lập và giải hệ (6.13) theo phương pháp bình phương tối thiểu dựa trên phương pháp Choleski chúng ta bắt buộc phải hoặc lưu giữ ma trận chuẩn  $R_S^e$  trong bộ nhớ của máy tính (điều này làm tốn thêm bộ nhớ của máy

tính) hoặc tạo lại ma trận này từ ma trận  $\bar{T}_S$  (6.16) (điều này làm tốn thêm bộ nhớ của máy tính và thời gian tính toán). Thực sự là tối ưu khi sử dụng ngay ma trận  $\bar{T}_S$  (6.16) để lập và giải hệ (6.13). Vấn đề này được giải quyết nhờ nguyên lý “ghép ma trận T vào ma trận T” dựa trên phương pháp bình sai truy hồi với phép biến đổi xoay trong lý thuyết bình sai khối mạng lưới trắc địa lớn. Phương trình thứ hai của hệ (6.13) dựa trên (6.17) có thể viết lại dưới dạng:

$$\tilde{V}_S^{K \times 1} = \bar{T}_S \cdot d\tau^{K \times 1} - \bar{G}_S \cdot dW + \bar{L}_S, \quad \bar{P}_S = E_{K \times K}, \quad (6.18)$$

ở đây

$$\bar{G}_S = \bar{T}_S \cdot G_S; \quad \bar{L}_S = \bar{T}_S \cdot L_S; \quad E - \text{ma trận đơn vị bậc } K.$$

Bây giờ việc giải hệ (6.13) dẫn đến việc giải hệ (6.18) theo phương pháp bình sai truy hồi với phép biến đổi xoay với ma trận khởi đầu:

$$T_0 = \begin{bmatrix} T^{K1 \times K1} & 0 & 0 \\ 0 & 10^6 \cdot E_{\bar{K} \times \bar{K}} & 0 \\ 0 & 0 & 10^6 \cdot E_{3 \times 3} \end{bmatrix}_{(K+3) \times (K+3)}$$

ở đây  $T_i^{K1 \times K1}$  - ma trận tam giác trên liên hệ với ma trận  $\bar{P}_i$  trong (6.13)

theo công thức  $P_i = T_i^T \cdot T_i$ ;  $\bar{K} = K - K1$  - số lượng các ẩn số bên trong (không phải là các ẩn số chung) của mạng lưới GPS.

Sau khi giải hệ (6.13), chúng ta nhận được các giá trị cuối cùng của tọa độ ellipsoid  $\tilde{B}, \tilde{L}, \tilde{H}$  của tất cả các điểm chung trong Hệ tọa độ Quốc gia và các giá trị cuối cùng của 7 tham số  $\tilde{X}_0, \tilde{Y}_0, \tilde{Z}_0, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \Delta m$  của mô hình BURSA – WOLF để chuyển tọa độ không gian hoặc tọa độ trắc địa từ ITRF-yy về Hệ tọa độ Quốc gia,

ở đây

$$\tilde{X}_0 = X_0 + \delta X_0,$$

$$\tilde{Y}_0 = Y_0 + \delta Y_0,$$

$$\tilde{Z}_0 = Z_0 + \delta Z_0.$$

Bước tiếp theo là hiệu chỉnh tọa độ bên trong của các điểm thiên văn – trắc địa trong hệ tọa độ Quốc gia.

### **3. Hiệu chỉnh tọa độ bên trong của các điểm thiên văn – trắc địa trong Hệ tọa độ quốc gia [83].**

Sau khi giải quyết bài toán bình sai ghép nối nêu trên, chúng ta nhận được vector giá trị cuối cùng của tọa độ trắc địa  $\tilde{B}, \tilde{L}$  của các điểm chung là  $\tilde{X}_2$  và ma trận trọng số đảo của các ẩn số  $\tilde{Q}_2$  trong hệ tọa độ Quốc gia. Vấn đề cần giải quyết tiếp theo là hiệu chỉnh tọa độ trắc địa của các điểm bên trong và trọng số đảo  $\hat{Q}_F$  của các hàm cần đánh giá.

$$\text{Đặt} \quad t = \tilde{X}_2 - X_2 \quad ,$$

ở đây vector  $X_2$  được cho trong (6.8).

Khi đó giá trị cuối cùng của vector tọa độ bên trong  $\tilde{X}_1$  được xác định theo công thức

$$\tilde{X}_1 = X_1 + \delta x$$

ở đây vector số cải chỉnh tọa độ bên trong  $\delta x$  được xác định từ hệ:

$$T_{11} \cdot \delta x = Y_1 - T_{12} \cdot t \quad ,$$

các khối  $T_{11}, T_{12}$  và vector con  $Y_1$  được cho trong (6.6), (6.7).

Bài toán hiệu chỉnh trọng số đảo  $Q_F$  của hàm cần đánh giá  $F$  được giải quyết như sau: Gọi  $f$  là vector hàng của các hệ số nhận được từ phép khai triển hàm  $F$  theo chuỗi Taylo. Tương ứng với các ẩn số  $dx_1$  và  $dx_2$  trong (6.4), vector  $f$  có dạng:

$$f = (f_1 : f_2) . \quad (6.19)$$

Khi bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn trắc địa, trọng số đảo  $\hat{Q}_F$  được đánh giá theo công thức sau:

$$\hat{Q}_F = \bar{f} \cdot \bar{f}^T = \bar{f}_1 \cdot \bar{f}_1^T + \bar{f}_2 \cdot \bar{f}_2^T , \quad (6.20)$$

ở đây vector  $\bar{f} = (\bar{f}_1 : \bar{f}_2)$  được xác định từ hệ

$$T^T \cdot \bar{f}^T = f^T, \quad (6.21)$$

ở đây ma trận  $T$  có dạng (6.6), còn vector  $f$  có dạng (6.19).

Theo kết quả nghiên cứu trong [89], giá trị cuối cùng của trọng số đảo  $\tilde{Q}_F$  có dạng :

$$\tilde{Q}_F = \hat{Q}_F + \rho \cdot (\tilde{Q}_2 - Q_2) \cdot \rho^T, \quad (6.22)$$

ở đây vector

$$\rho^T = f_2^T - T_{12}^T \cdot T_{11}^{-T} \cdot f_1^T. \quad (6.23)$$

Chúng ta sẽ hoàn thiện các công thức (6.22) và (6.23). Dựa trên (6.6), (6.19) và (6.21) có thể viết:

$$\bar{f}_1^T = T_{11}^{-T} \cdot f_1^T$$

$$T_{12}^T \cdot \bar{f}_1^T + T_{22}^T \cdot \bar{f}_2^T = f_2^T$$

Từ hai công thức trên có thể viết lại công thức (6.23) dưới dạng:

$$\rho^T = T_{22}^T \cdot \bar{f}_2^T. \quad (6.24)$$

Trên cơ sở (6.24) có thể nhận được biểu thức:

$$\rho \cdot Q_2 \cdot \rho^T = \bar{f}_2 \cdot \bar{f}_2^T. \quad (6.25)$$

Lưu ý (6.20), (6.25), từ (6.22) suy ra:

$$\tilde{Q}_F = \bar{f}_1 \cdot \bar{f}_1^T + \rho \cdot \tilde{Q}_2 \cdot \rho^T. \quad (6.26)$$

Như vậy, trong bài toán bình sai riêng rẽ mạng lưới thiên văn trắc địa để bình sai ghép nối tiếp theo mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ quốc gia thay cho giá trị  $\hat{Q}_F$  trong (6.20) chỉ cần tính thành phần  $\bar{f}_1 \cdot \bar{f}_1^T$  và vector  $\rho$  từ hệ (6.24). Giá trị cuối cùng của trọng số đảo  $\tilde{Q}_F$  được xác định theo công thức (6.26).

Dựa trên nguyên lý của lý thuyết hiệu chỉnh toán học các kết quả đo đạc, do các ma trận  $Q_2$  và  $\tilde{Q}_2$  luôn xác định dương, nên các dạng toàn phương  $\rho \cdot Q_2 \cdot \rho^T$  và  $\rho \cdot \tilde{Q}_2 \cdot \rho^T$  luôn thoả mãn điều kiện:

$$\rho \cdot \tilde{Q}_2 \cdot \rho^T < \rho \cdot Q_2 \cdot \rho^T.$$

Do đó từ (6.22) suy ra:

$$\tilde{Q}_F < \hat{Q}_F.$$

Điều này xác nhận một thực tế rằng việc bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia sẽ nâng cao độ chính xác của tọa độ các điểm thiên văn – trắc địa.

### **§6.3.3. Sự loại bỏ tự động việc định vị tạm thời điểm gốc khi bình sai riêng rẽ mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học [ 80].**

Đối với trường hợp 3 đã trình bày ở mục A, khi bình sai riêng rẽ mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học phải định vị tạm thời một điểm GPS làm điểm gốc. Khi đó tọa độ không gian của điểm này được coi là có sai số được đặc trưng bởi ma trận liên hệ.

$$K_1 = 10^6 \cdot E_1, \quad (6.27)$$

ở đây  $E_1$  - ma trận đơn vị bậc 3; chỉ số 1 có nghĩa là điểm khởi tính được đánh số 1.

Như vậy bài toán bình sai mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học dẫn đến bài toán bình sai có tính đến sai số số liệu gốc, ở đây số liệu gốc là tọa độ không gian của điểm khởi tính 1 với sai số được đặc trưng bởi ma trận  $K_1$  dưới dạng (6.27) đảm bảo điểm khởi tính là điểm cứng.

Việc định vị tạm thời một điểm GPS làm điểm gốc, đặc biệt khi điểm này trùng với điểm gốc của hệ tọa độ Quốc gia sẽ làm mất đi thông tin tiên nghiệm để làm chính xác tọa độ của điểm trùng trong Hệ tọa độ Quốc gia.

Tuy nhiên điều kỳ thú là sự định vị tạm thời một điểm GPS làm điểm gốc sẽ bị tự động loại bỏ khi giải quyết bài toán bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia. Điều này có nghĩa rằng khi giải hệ (6.13), điểm được định vị tạm thời sẽ trở thành điểm cần xác định và chứa đầy đủ thông tin tiên nghiệm để làm chính xác tọa độ của điểm trùng trong Hệ tọa độ Quốc gia. Chúng ta sẽ chứng minh điều này.

Ma trận chuẩn  $R_s$  nhận được trong kết quả bình sai mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học có dạng:

$$R_s = \hat{P}_1 + \hat{R}_s, \quad (6.28)$$

ở đây ma trận

$$\hat{P}_1 = \begin{bmatrix} 10^{-6} \cdot E_1 & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & 0 \end{bmatrix}_{K \times K}, \quad (6.29)$$

ma trận chuẩn  $\hat{R}_s$  được lập từ các phương trình số cải chính của các trị đo GPS và suy biến với lượng hụt  $d = 3$ ; còn  $K = 3N$  - số lượng ẩn số trong lưới GPS,  $N$  - tổng số điểm GPS trong mạng lưới đang bình sai.

Khi sử dụng các số gia tọa độ  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  của vectơ Baseline làm các trị đo GPS, ma trận  $\hat{R}_s$  có tính chất:

$$\hat{R}_s \cdot H = 0, \quad (6.30)$$

ở đây ma trận  $H$  có dạng:

$$H = [E_1 : E_2 : \dots : E_N]^T, \quad (6.31)$$

ở đây  $E_i$  - ma trận đơn vị bậc 3,  $i = \overline{1, N}$ .

Ma trận liên hệ  $\bar{K}_x$  trong (6.10) liên hệ với ma trận  $R_s$  (6.28) theo công thức:

$$K_x = \mu_s^2 \cdot R_s^{-1} \quad (6.32)$$

ở đây  $\mu_s$  - sai số trung phương đơn vị trọng số nhận được khi bình sai mạng lưới GPS.

Từ hệ (6.18) chúng ta lập hệ phương trình chuẩn:

$$\begin{bmatrix} \bar{G}_s^T \cdot \bar{G}_s & \vdots & -\bar{G}_s^T \cdot \bar{T}_s \\ \dots & \dots & \dots \\ -\bar{T}_s^T \cdot \bar{G}_s & \vdots & P_t + \bar{T}_s^T \cdot \bar{T}_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d\omega \\ \dots \\ d\tau \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\bar{G}_s^T \cdot \bar{L}_s \\ \dots \\ \bar{T}_s^T \cdot \bar{L}_s \end{bmatrix} = 0$$

Từ phương trình thứ nhất của hệ trên rút ra:

$$d\omega = (\bar{G}_s^T \cdot \bar{G}_s)^{-1} \cdot \bar{G}_s^T \cdot \bar{T}_s \cdot (d\tau + L_s).$$

Đặt  $d\omega$  vào phương trình thứ hai và lưu ý (VI.17) suy ra:

$$\left[ P_t + R_s^e - \bar{T}_s^T \cdot \bar{G}_s \cdot (\bar{G}_s^T \cdot \bar{G}_s)^{-1} \cdot \bar{G}_s^T \cdot \bar{T}_s \right] \cdot d\tau + \left[ R_s^e - \bar{T}_s^T \cdot \bar{G}_s \cdot (\bar{G}_s^T \cdot \bar{G}_s)^{-1} \cdot \bar{G}_s^T \cdot \bar{T}_s \right] \cdot L_s = 0 \quad (6.33)$$

Do  $\bar{G}_S = \bar{T}_S \cdot G_S$  nên

$$\bar{T}_S^T \cdot \bar{G}_S = R_S^e \cdot G_S; \quad \bar{G}_S^T \cdot \bar{G}_S = G_S^T \cdot R_S^e \cdot G_S$$

Khi đó hệ (6.33) có dạng

$$\begin{aligned} & \left[ P_1 + R_S^e - R_S^e \cdot G_S \left( G_S^T \cdot R_S^e \cdot G_S \right)^{-1} \cdot G_S^T \cdot R_S^e \right] \Delta t + \\ & + \left[ R_S^e - R_S^e \cdot G_S \left( G_S^T \cdot R_S^e \cdot G_S \right)^{-1} \cdot G_S^T \cdot R_S^e \right] L_S = 0. \end{aligned} \quad (6.34)$$

Lưu ý (6.28), từ (6.11) suy ra:

$$R_S^e = F^T \cdot \hat{P}_1 \cdot F + F^T \cdot \hat{R}_S \cdot F. \quad (6.35)$$

Từ (6.12), (6.29) có thể thấy thành phần thứ nhất của công thức (6.35) có dạng:

$$F^T \cdot \hat{P}_1 \cdot F = 10^{-6} \cdot \begin{bmatrix} (M_1 + H_1)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (N_1 + H_1)^2 \cdot \cos^2 B_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{K \times K} = P_1^e. \quad (6.36)$$

Lưu ý từ (6.12) và (6.15) rằng  $F_i \cdot G_i = E_{3 \times 3}$ . Từ đây có thể thấy  $F \cdot G_S = H$ , ở đây  $H$  có dạng (6.31). Khi đó từ tính chất (6.30) có thể viết:

$$F^T \cdot \hat{R}_S \cdot F \cdot G_S = F^T \cdot \hat{R}_S \cdot H = 0. \quad (6.37)$$

Lưu ý (6.35) và (6.37), từ (6.34) chúng ta có:

$$\left[ P_1 + R_S^e - P_1^e \cdot G_S \left( G_S^T \cdot P_1^e \cdot G_S \right)^{-1} \cdot G_S^T \cdot P_1^e \right] \Delta t + \left[ R_S^e - P_1^e \cdot G_S \left( G_S^T \cdot P_1^e \cdot G_S \right)^{-1} \cdot G_S^T \cdot P_1^e \right] \cdot L_S = 0. \quad (6.38)$$

Trên cơ sở (6.15) và (6.36) suy ra:

$$\left( G_S^T \cdot P_1^e \cdot G_S \right)^{-1} = \hat{P}_1^{-1}, \quad (6.39)$$

ở đây  $\hat{P}_1$  có dạng (6.29).

Lưu ý (6.15), (6.39) chúng ta có:

$$G_S \hat{P}_1^{-1} G_S^T = (P_1^e)^{-1}.$$

Khi đó:

$$P_1^e G_S (G_S^T P_1^e G_S)^{-1} G_S^T P_1^e = P_1^e. \quad (6.40)$$

Trên cơ sở (6.35), (6.36) và (6.40) có thể viết lại biểu thức (6.38) dưới dạng:

$$\left[ P_1 + F^T \hat{R}_S F \right] d\tau + F^T \hat{R}_S F L_S = 0. \quad (6.41)$$

Trong phương trình (6.41) hoàn toàn loại bỏ hệ quả của việc định vị tạm thời tọa không gian của điểm khởi tính với việc sử dụng ma trận liên hệ  $K_1$  dạng (6.27). Điều này có nghĩa là việc định vị tạm thời điểm gốc để bình sai mạng lưới GPS không ảnh hưởng đến kết quả bình sai ghép nối mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ quốc gia và bị loại bỏ một cách tự động trong quá trình bình sai ghép nối. Tuy nhiên điểm khởi tính phải là một trong các điểm chung có tọa độ và độ cao trong Hệ tọa độ quốc gia.

#### **\$6.4. Kết luận chương 6.**

Các kết quả nghiên cứu trong chương này có thể tổng kết dưới dạng các kết luận sau:

1. Việc bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia sẽ nâng cao độ chính xác của tọa độ các điểm thiên văn – trắc địa, trong đó có tọa độ điểm gốc của Hệ tọa độ Quốc gia;
2. Mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ Quốc gia được thiết lập thông qua 7 tham số của mô hình BURSA – WOLF, thêm vào đó các tham số này được xác định một cách tin cậy nhờ quá trình bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ tọa độ Quốc gia. Mối quan hệ đơn trị này là sự đảm bảo để giải quyết các bài toán khoa học – kỹ thuật liên quan tới việc ứng dụng công nghệ GPS trong công tác đo đạc thành lập bản đồ địa hình, địa chính các tỷ lệ.

## **CHƯƠNG 7. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT.**

### **§7.1. Kết luận.**

Các kết quả nghiên cứu trong đề tài có thể được tổng kết dưới dạng các kết luận sau.

1. Hệ tọa độ động học quốc gia được xây dựng dựa trên công nghệ GPS và Khung qui chiếu Quả đất (ITRF) nhằm thực hiện các nhiệm vụ sau:

1.1. Phát triển mạng lưới các trạm thường trực thu tín hiệu vệ tinh trên cơ sở hợp tác với Tổ chức IGS để nhận được các tọa độ không gian độ chính xác cao nhất trong ITRF, nghiên cứu xác định sự biến thiên của tầng điện ly và độ ẩm không khí phục vụ việc nghiên cứu dự báo khí tượng và các nhu cầu quốc phòng, tạo cơ sở cho việc hợp tác với các nước trong khu vực và trên thế giới trong việc giải quyết các bài toán khoa học kỹ thuật có liên quan đến việc sử dụng công nghệ GPS (ví dụ bài toán thống nhất Hệ độ cao giữa các nước v...v) và đáp ứng các nhu cầu của Tổ chức IGS trong việc phát triển mạng lưới IGS phục vụ việc hoàn thiện Khung qui chiếu Quả đất;

1.2. Đảm bảo việc xác định độ cao trắc địa độ chính xác ở mức 5cm trên toàn lãnh thổ quốc gia phục vụ việc xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao theo phương pháp thủy chuẩn vệ tinh kết hợp với dữ liệu đo đặc trọng lực chi tiết để đáp ứng các yêu cầu đo đạc – thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn và còn hơn thế - để xác định độ cao chuẩn các hạng Nhà nước bằng công nghệ GPS. Với độ chính xác đo đặc trọng lực chi tiết ở mức 0,3mgl, mật độ các điểm trọng lực 10km/1điểm và bán kính vùng lấy tích phân quanh điểm xét khoảng 200-300km, Hệ tọa độ động học sẽ cho phép xây dựng mô hình Kvazigeoid độ chính xác ở mức 102mm. Điều này đảm bảo cho việc xác định độ cao chuẩn hạng III bằng công nghệ GPS;

1.3. Đảm bảo cơ sở cho việc sử dụng các dịch vụ của Tổ chức IGS bao gồm lịch vệ tinh chính xác (ở mức 5cm), lịch mặt trăng-mặt trời, các tham số chuyển dịch của cực Quả đất để phục vụ việc xử lý tính toán các vectơ baseline với độ chính xác ở mức mm và lớn hơn trên các khoảng cách lớn đáp ứng các yêu cầu phát triển các mạng lưới GPS các hạng trong Hệ tọa độ động học quốc gia và các nhu cầu khác, ví dụ nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất bằng công nghệ GPS;

1.4. Đảm bảo cơ sở cho việc ứng dụng các thiết bị đo động để đo đạc – thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn (đảm bảo xác định độ cao trắc địa của các điểm đo chi tiết ở mức 5cm trên toàn lãnh thổ Quốc gia để xác định độ cao chuẩn của chúng với độ chính xác cao hơn 15cm khi sử dụng mô hình Kvazigeoid với độ chính xác cao hơn 12,8cm) và nâng cao độ chính xác của kết quả đo GPS bằng máy thu một tần số trên cơ sở sử dụng các dữ liệu biến thiên của tầng điện ly do các trạm thường trực cung cấp;

1.5. Thiết lập các mối quan hệ đơn trị giữa Hệ tọa độ động học và Hệ tọa độ quốc gia và hoàn thiện Hệ tọa độ quốc gia trên cơ sở xử lý tính toán bình sai chung mạng lưới GPS với mạng lưới thiên văn – trắc địa, và tạo cơ sở để xây dựng Hệ thống thông tin trắc địa quốc gia;

1.6. Góp phần nghiên cứu chuyển dịch của vỏ trái đất trên cơ sở sử dụng các kết quả đo lập các mạng lưới GPS trong Hệ tọa độ động học theo chu kỳ.

## 2. Hệ tọa độ động học bao gồm ba hạng các mạng lưới GPS.

2.1. Hạng AA bao gồm các trạm thu thường trực tín hiệu vệ tinh nhằm thực hiện các nhiệm vụ 1.1 và 1.3 của Hệ tọa độ động học quốc gia. Các tiêu chuẩn kỹ thuật của mạng lưới này như sau: Khoảng cách trung bình của các điểm hạng AA là 900km. Khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng A kề nhau không vượt quá 1200km, khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 600km. Đối với mạng lưới GPS hạng AA, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 3,3mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,7 mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng AA kề nhau ở mức 1: 300.000.000.

2.2. Mạng lưới GPS hạng A thực hiện nhiệm vụ 1.2 của Hệ tọa độ động học quốc gia. Các chức năng cụ thể bao gồm:

- Xác định dị thường độ cao thủy chuẩn vệ tinh độ chính xác cao trên các điểm GPS của mạng lưới này;
- Xây dựng cơ sở để chuyển đổi Hệ tọa độ động học quốc gia giữa các Khung qui chiếu Quả đất ITRF - yy;
- Xây dựng cơ sở để phát triển mạng lưới GPS hạng B và đảm bảo cho việc xác định dị thường độ cao của các điểm hạng B nhờ phương pháp nội suy trọng lực từ các điểm cơ sở hạng A.

### **Các đặc trưng kỹ thuật của mạng lưới GPS hạng A**

Khoảng cách trung bình của các điểm hạng A là 100km. Khoảng cách lớn nhất giữa các điểm hạng A kề nhau không vượt quá 130km, khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 70 km.

Các điểm hạng A cần phải trùng với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia.

Khi xây dựng mạng lưới GPS hạng A, thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên một điểm GPS không nhỏ hơn 2 ngày đêm, góc ngưỡng vệ tinh E không nhỏ hơn  $5^{\circ}$ . Khi xử lý dữ liệu đo GPS sử dụng lịch vệ tinh chính xác của tổ chức IGS ở mức độ chính xác 5 cm và các phần mềm BERNESR, GAMIT hoặc tương đương với sự sử dụng các dữ liệu bổ sung như lịch mặt trăng – mặt trời và các tham số chuyển dịch cực của Quả đất.

Đối với mạng lưới GPS hạng A, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 0,3mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,1mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng A kề nhau ở mức 1: 250.000.000.

2.3. Mạng lưới GPS hạng B thực hiện các nhiệm vụ 1.2, 1.4, 1.5 và 1.6 của Hệ tọa độ động học quốc gia. Các chức năng cụ thể bao gồm:

- Chêm dầy dị thường độ cao ra toàn lãnh thổ đất nước và đảm bảo cơ sở của mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao;
- Xử lý bình sai ghép nối với các mạng lưới thiên văn trắc địa thuộc Hệ tọa độ Quốc gia để nâng cao độ chính xác của mạng lưới này và thiết lập mối quan hệ giữa Hệ tọa độ động học Quốc gia và Hệ tọa độ Quốc gia;
- Xây dựng cơ sở để phát triển mạng lưới GPS chêm dầy cấp thấp hơn làm cơ sở đo vẽ bản đồ địa hình bằng công nghệ GPS động và khống chế đo vẽ không ảnh.

### **Các đặc trưng kỹ thuật của mạng lưới GPS hạng B**

Khoảng cách trung bình giữa các điểm kề nhau bằng 40km, khoảng cách lớn nhất giữa các điểm kề nhau không vượt quá 50km, còn khoảng cách nhỏ nhất không nhỏ hơn 30km.

Các điểm hạng B cần phải trùng với các điểm của mạng lưới thiên văn – trắc địa Quốc gia hạng I và II của Hệ tọa độ Quốc gia.

Khi xây dựng mạng lưới GPS hạng B, thời gian thu tín hiệu vệ tinh trên một điểm GPS tối đa là 2 ngày đêm và không ít hơn 1 ngày đêm, góc ngưỡng vệ tinh E không nhỏ hơn  $5^{\circ}$ . Khi xử lý dữ liệu đo GPS sử dụng lịch vệ tinh chính xác của tổ chức IGS ở mức độ chính xác 5 cm và các phần mềm BERNESSE, GAMIT hoặc tương đương cùng với việc sử dụng các dữ liệu bổ sung như lịch mặt trăng – mặt trời và các tham số chuyển dịch cực của Quả đất.

Đối với mạng lưới GPS hạng B, sai số vị trí mặt bằng tương hỗ giữa hai điểm GPS ở mức 0,2mm, sai số trung phương hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS kề nhau ở mức 0,1mm. Sai số trung phương vị trí tương đối giữa hai điểm hạng B kề nhau ở mức 1: 200.000.000.

### **§7.2. Đề xuất.**

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường nên xem xét việc xây dựng Hệ tọa độ động học Quốc gia nhằm tạo cơ sở cho việc giải quyết bài toán xác định mô hình Kvazigeoid độ chính xác cao theo phương pháp thủy chuẩn vệ tinh – trọng lực và xác định các cơ sở để ứng dụng công nghệ GPS trong việc đo vẽ bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

2. Phát triển Hệ thống thông tin trắc địa Quốc gia để xử lý toán học đồng thời các dữ liệu thiên văn trắc địa, thủy chuẩn Quốc gia, GPS và trọng lực với các mục đích xây dựng mô hình Kvazigeoid chính xác ở Việt nam, hoàn thiện mạng lưới thiên văn- trắc địa trong hệ tọa độ Quốc gia và thiết lập các mối quan hệ đơn trị giữa hệ tọa độ Quốc gia và hệ tọa độ động học Quốc gia.

3. Ngành đo đạc - bản đồ cần tiếp tục hoàn thiện Quy phạm đo đạc và xử lý dữ liệu đo GPS đáp ứng các yêu cầu hiện đại của việc ứng dụng công nghệ GPS trong công tác đo đạc - thành lập bản đồ.

4. Phát triển công tác nghiên cứu và xây dựng các phần mềm xử lý dữ liệu đo GPS độ chính xác cao của Việt Nam.

## Các tính năng kỹ thuật của các thiết bị thu tín hiệu vệ tinh GPS

| TT | Tên máy thu và tên hãng chế tạo.                                       | Phương pháp đo tĩnh                                                                                | Phương pháp đo tĩnh nhanh                                                                          | Phương pháp đo động                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 4600 LS<br>TRIMBLE<br>Máy 1 tần số                                     | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br>với $S_{\max} \leq 20 \text{ km}$                    | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br>với $S_{\max} \leq 10 \text{ km}$                    | $M_p = \pm 2 \text{ mm}$<br>$+2.10^{-6}.S$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 2  | 4800 LS<br>TRIMBLE<br>Máy 2 tần số                                     | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$ | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+1.10^{-6}.S$ | <u>Phương pháp RTK</u><br>$M_p = \pm 3 \text{ cm}$<br>$+2.10^{-6}.S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 5 \text{ cm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br><u>Phương pháp PPK</u><br>* $M_p = \pm 1 \text{ cm}$<br>$+2.10^{-6}.S$<br>với $S_{\max} \leq 10 \text{ km}$<br>* $M_p = \pm 2 \text{ cm}$<br>$+1.10^{-6}.S$<br>với $S_{\max} \geq 10 \text{ km}$<br>$M_{\Delta H} = \pm 2 \text{ cm}$<br>$+1.10^{-6}.S$ |
| 3  | Surveyor<br>II <sup>TM</sup> Series<br>4000<br>ASHTECH<br>Máy 1 tần số | $M_p = \pm 1 \text{ cm}$<br>$+2.10^{-6}.S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 2 \text{ cm}$<br>$+2.10^{-6}.S$  |                                                                                                    | $M_p = \pm 2 \text{ cm}$<br>$+2.10^{-6}.S$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

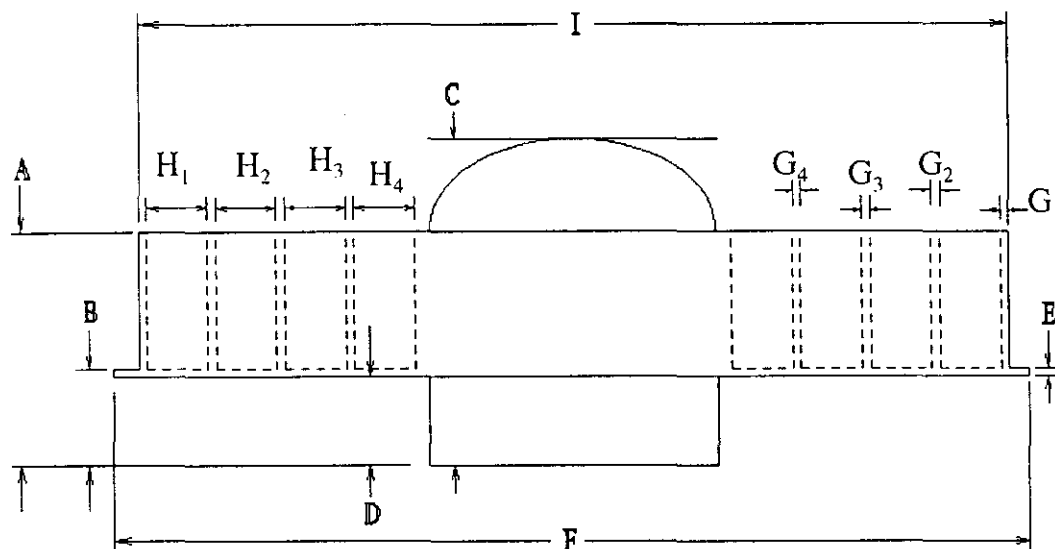
|   |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                              |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | <b>Geotracer</b><br><b>2104</b><br><b>2104 RTK</b><br><b>2100</b><br><b>2102</b><br><b>Máy 1 tần số</b> | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+ (1-2) \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>với $S_{\max} \leq 10 \text{ km}$<br>$M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+ (2-3) \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>với $S_{\max} \geq 10 \text{ km}$<br>$M_{\Delta H} = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+ (2-3) \cdot 10^{-6} \cdot S$ | $M_p = \pm (5 - 10) \text{ mm}$<br>$+ 2 \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>với $S_{\max} \leq 10 \text{ km}$<br>$M_p = \pm (5-10) \text{ mm}$<br>$+ 3 \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>với $S_{\max}$ từ 10 km đến 15 km | $M_p = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+ 2 \cdot 10^{-6} \cdot S$                                                                                                     |
| 5 | <b>Geotracer</b><br><b>2200</b><br><b>2200 RTK</b><br><b>Máy 2 tần số</b>                               | $M_p = \pm 5 \text{ mm}$<br>$+ 1 \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+ 1 \cdot 10^{-6} \cdot S$                                                                                                                                                  | $M_p = \pm (5 - 10) \text{ mm}$<br>$+ 1 \cdot 10^{-6} \cdot S$                                                                                                                                           | $M_p = \pm 10 \text{ mm}$<br>$+ 1 \cdot 10^{-6} \cdot S$                                                                                                     |
| 6 | <b>SiteSurveyor</b><br><b>SSI<sup>TM</sup></b><br><b>Máy 2 tần số</b><br><b>TRIMBLE</b>                 |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                          | <b><u>Phương pháp RTK</u></b><br>$M_p = \pm 1 \text{ cm}$<br>$+ 2 \cdot 10^{-6} \cdot S$<br>$M_{\Delta H} = \pm 2 \text{ cm}$<br>$+ 2 \cdot 10^{-6} \cdot S$ |

### Các ký hiệu

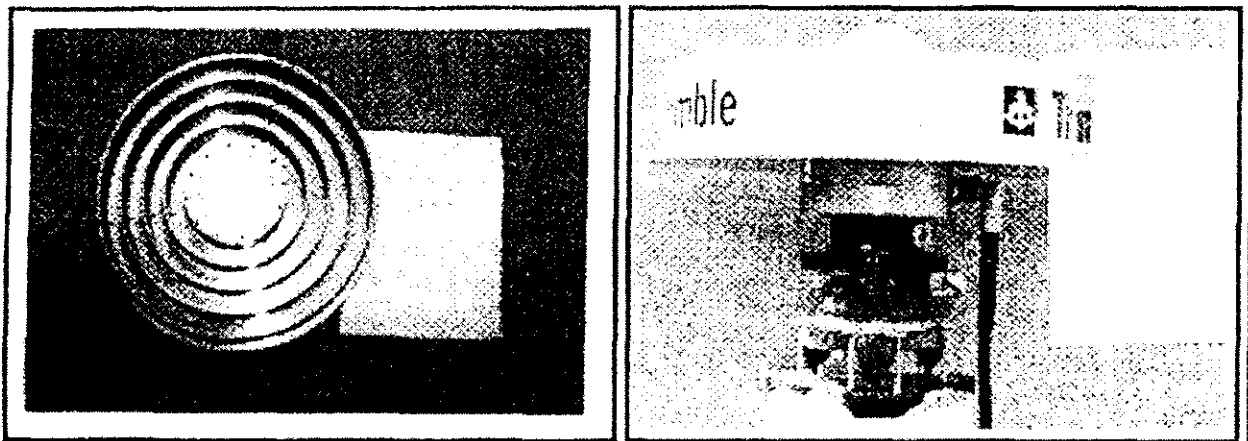
$M_p$  - Sai số vị trí điểm mặt bằng

$M_{\Delta H}$  - Sai số hiệu độ cao trắc địa giữa hai điểm GPS

**CẤU TRÚC ANTEN VÒNG CẢM KHÁNG CAO TẦN**  
**(CHOKE RING ANTENNA DIAGRAM)**



| Hãng        | AOA       | Trimble  | Lecia | Ashtech |
|-------------|-----------|----------|-------|---------|
| Mô hình     | 7490582-2 | 29659-00 | 10839 | 700936  |
| Các bộ phận | mm        | mm       | mm    | mm      |
| A           | 101.3     | 101.6    | 101.2 | 100.8   |
| B           | 40.2      | 38.0     | 37.8  | 37.8    |
| C           | 139.2     | 139.9    | 139.1 | 138.5   |
| D           | 34.8      | 34.9     | 34.5  | 34.7    |
| E           | 3.0       | 3.0      | 3.2   | 3.0     |
| F           | 379.4     | 381.3    | 379.4 | 379.4   |
| G1          | 3.5       | 3.2      | 3.4   | 3.3     |
| G2          | 3.5       | 3.2      | 3.4   | 3.3     |
| G3          | 3.5       | 3.2      | 3.4   | 3.3     |
| G4          | 3.5       | 3.2      | 3.4   | 3.3     |
| H1          | 25.4      | 25.3     | 25.1  | 25.2    |
| H2          | 24.9      | 25.5     | 25.4  | 25.3    |
| H3          | 25.1      | 25.4     | 25.4  | 25.3    |
| H4          | 25.2      | 25.4     | 25.1  | 25.3    |
| I           |           | 360.0    |       | 359.0   |



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Alfred Leick. GPS satellite surveying Department of surveying engineering. University of Maine. 1995.
2. Жалковский Е.А., Демьянов Г. В., Бровар Б. В., Майоров А. Н., Таранов В. А., Юркина М. И. Гравиметрия и современная спутниковая геодезия. Москва, ЦНИИГАиК – 1998.
3. King R. W., Master E.G., Rizos C., Stolz A., Collins J. Surveying with Global Positioning System - GPS. The university of New South Wales. Australia. 1985.
4. Краснорылов И. И., Плахов Ю. В. Основы космической геодезии. Москва. Недра, 1976.
5. Wahr J. M. Body tides on an elliptical rotating, elastic and oceanless earth. Geophys. J. R. Astr. Soc., 64: 705-727, 1981.
6. Claude Boucher, Juheir Altanimi. The International Terrestrial Reference Frame. IGS Annual Report. 1998.
7. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия. Москва. Недра, 1978.
8. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. Москва. Недра, 1964.
9. Allis R. G., Hunt T. M. Analysis of exploitation - induced gravity changes at Wairakei Geothermal field. Geophysics, 51, 08, 1986.
10. Berrino G. Absolute gravimetry and gradiometry on active volcanoes of Southern Italy. Bollettino di geofisica. Teorica ed applicata 37, 0146. 1995.
11. Gerhard Bentler. The IGS in 1998 - An executive Summary. IGS Annual Report. 1998.
12. Ruth E. Neilan, Angelyn Moore. International GPS service tutorial. Overview of history, organization and resources. GPS' 99 Symposium. Tsukuba, Japan. Oct. 21, 1999.
13. Soler T., Love J. D., Hull I. W. and Foote R. H. GPS results from statewide high precision networks in the United States. Proc. 6<sup>th</sup> DMA, 573-582, 1992.
14. Strange W. E., Love J. D. High accuracy reference networks. A national perspective. Presented at the ASCE specialty of GPS positioning strategies. Sacramento, California, 18-21 Sep. 1991.

15. Recommended survey and Reduction practices. Australia Land Department. 2000.
16. Основные положения о государственной геодезической сети России. Проект. ЦНИИГАиК, 1997.
17. Бойков В. В., Галазин В. Ф., Кораблев Е.В. Применение геодезических спутников для решения фундаментальных и прикладных задач. Геодезия и Картография. No 11, 1993, с.8-11.
18. Hofmann - Wellenhof B., Lichtenegger H., and Collins J. Global Positioning System. Theory and Practice. Third, revised edition. Springer - Verlag – New York. April - 1994.
19. Медведев П. П., Баранов И. С. Глобальные космические навигационные системы. Геодезическое использование. ВИНТИ. 1992.
20. Brunner F. K., Welsch W. M. Effect of the troposphere on GPS measurements. GPS World, January, 1993, p. 42-51.
21. Brunner F. K., Trogoning P. Tropospheric propagation Effects in GPS height results using meteorological observation. Aust. J. Geod. photogram. Serv. No 60, June, 1994, pp. 49-65.
22. Beutler G., Bauersima I., Rothacher M., Schildknecht T. and Geiger A. (1988). Atmospheric refraction and other important biases in GPS carrier phase observations. in Atmospheric effects on Geodetic space measurements, Monograph 12, School of surveying, UNSW, Australia, pp. 15-43.
23. Gurtner W., Beutler G., Botton S., Rothacher M., Geiger A., Kabler H.G., Schneider D., Wiget A. (1989). The use of the Global Positioning System in Mountainous Areas, Manuscripta Geodaetica 14: 53-60.
24. V.B. Mendes and R.B. Langley, 1994, "A Comprehensive analysis of mapping function used in modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data", International Symposium on Kinematic systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Canada, August 30-September 2, 1994.
25. A.E. Niell, 1996, "Global mapping functions for the atmospheric delay at radio wavelengths", Journal of geophysical research, vol 101, No B2, pages 3227-3246.

26. Rizos C. D., Grant D. B., Holloway A. D. GPS vertical surveying. A discussion of some special consideration. In Global Positioning System. Springer - Verlag, 272-281, 1989.
27. Bar - Sever Y. E., Kroger P. M. Strategies for GPS - based estimates of troposphere delay. Proc. ION GPS - 96, 9<sup>th</sup> Int. Tech. Meeting of the satellite division of the U.S. institute of navigation. Palm Springes, California, 17-20, September, 615-623, 1996.
28. Sjöberg L. E. Systematic tropospheric errors in geodetic positioning with the Global Positioning System. Manuscripta Geodeatica, 17, 201-209, 1992.
29. King R. W., Bock Y. Documentation of the GAMIT GPS Analysis Software Version 9.3. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. 1995.
30. Alber A.R., Rocken C. and Solheim F. GPS surveying with 1mm precision using corrections for atmospheric slant path delay. Geophysical Research Letters, 24, 1850-1862, 1997.
31. Lachapelle G., Falkeyberg W., Newfelli D. and Kielland P. Marine DGPS using code and carrier in a multipath environment. Proceedings of the second International Technical Meeting of the Satellite Division of Institute of Navigation. P. 343-347. Colorado Springs. Colorado, USA, September, 1989.
32. Stewart M. P. The application of antenna phase centre models to the west Australian State GPS Network. Geomatics Research Australasia, 68, 61-78, 1998.
33. Wu T. S., Wu S. C., Hajj G. A., Bertiger W. I., Lichten S. M. Effects of antenna orientation on GPS carrier phase Manuscripta Geodaetica, 18, 91-98, 1993.
34. Mader G. L. Kinematic positioning with the Global positioning System: An Addendum to the Manual of photogrammetry. Published by American Society for photogrammetry and Remote Sensing. Maryland. 1996.
35. Blewitt G. An automatic editing algorithm for GPS data. Geophysical Research Letters, 17 (3), 199 - 202, 1990.
36. Thomas A. Herring. Geodetic Application of GPS. Proceedings of the IEEE. Vol. 87, N<sup>o</sup> 1, january 1999.

26. Rizos C. D., Grant D. B., Holloway A. D. GPS vertical surveying. A discussion of some special consideration. In Global Positioning System. Springer - Verlay, 272-281, 1989.
27. Bar - Sever Y. E., Kroger P. M. Strategies for GPS - based estimates of troposphere delay. Proc. ION GPS - 96, 9<sup>th</sup> Int. Tech. Meeting of the satellite division of the U.S. institute of navigation. Palm Springes, California, 17-20, September, 615-623, 1996.
28. Sjoberg L. E. Systematic tropospheric errors in geodetic positioning with the Global Positioning System. Manuscrita Geodeatica, 17, 201-209, 1992.
29. King R. W., Bock Y. Documentation of the GAMIT GPS Analysis Software Version 9.3. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. 1995.
30. Alber A.R., Rocken C. and Solheim F. GPS surveying with 1mm precision using corrections for atmospheris slant path delay. Geophysical Research Letters, 24, 1850-1862, 1997.
31. Lachapelle G., Falkeyberg W., Newfelli D. and Kielland P. Marine DGPS using code and carrier in a multipath environment. Proceedings of the second International Technical Meeting of the Satellite Division of Institute of Navigation. P. 343-347. Colorado Springs. Colorado, USA, September, 1989.
32. Stewart M. P. The application of antenna phase centre models to the west Australian State GPS Network. Geomatics Reserch Australasia, 68, 61-78, 1998.
33. Wu T. S., Wu S. C., Hajj G. A., Bertiger W. I., Lichten S. M. Effects of antenna orientation on GPS carrier phase Manuscripta Geodaetica, 18, 91-98, 1993.
34. Mader G. L. Kinematic positioning with the Global positioning System: An Addendum to the Manual of photogrammetry. Published by American Society for photogrammetry and Remote Sensing. Maryland. 1996.
35. Blewit G. An automatic editing algorithm for GPS data. Geophysical Research Letters, 17 (3), 199 - 202, 1990.
36. Thomas A. Herring. Geodetic Application of GPS. Proceedings of the IEEE. Vol. 87, N<sup>o</sup> 1, january 1999.

37. Chang C. C. Geophysical effects on site displacements for permanent GPS tracking stations in Taiwan. Geomatics Research, Australia, No 71, Dec., 1999, PP. 1-18.
38. Chen J. I., Wilson C. R., Eanes R. J. and Nerem R. S. Geophysical interpretation of observed geocenter variations. Jour. Of geophysical Research. Vol. 104, N<sup>o</sup> B2, PP. 2683 - 2690, February, 1999.
39. Юзefович А. П., Огородова Л. В. Гравиметрия, М., Недра, 1980.
40. Огородова Л. В., Шимберев Б. П., Юзefович А. П. Гравиметрия, М. Недра, 1978.
41. Mecarthy D. D. IERS coventions. International Earth Rotation Services Technical Note 21, Obervatoire de Paris. 1996.
42. Baker T. F. Tidal Deformation of the Earth. Science Progress. Oxford, 69, PP. 197 - 233. 1984.
43. Baker T. F., Curtis D. J. and Dodson A.H. Ocean Tide Loading and GPS. GPS world, March 1995, PP. 54 - 59.
44. Gipson J. M. and Ma C. Site Displacement due to variation in Earth Rotation. Jour. of Geophysical Research, Vol. 103, N<sup>o</sup> B4, PP. 7337 – 7350, 1998.
45. Blewit G. Atmospheric Loading Effects and GPS Time-averaged Vertical Positions AGU 1994 Spring Meeting, EOS, Transaction, American Geophysical Union, Vol. 75, N<sup>o</sup> 16 Supplement, PP. 104 - 105.
46. Jinling Wang, Mike P. Stewart and Maria Tsakiri, 1998, "Stochastic Modeling for static GPS baseline data processing", Journal of Surveying Engineering, vol 124, No 4.
47. Collins P., Langley R. Dossible weiting Schemes for GPS carrier phase obervations in presence of multipath. Contract report for the United State Army Corps of Enineers Topographic Engineering center, N<sub>o</sub> DAAH 04-96-C-0086/TCN 98151, 33 pp. 2, 1994.
48. Rothacher M. Orbits of satellite systems in space geodesy. Geodatisch – geophysiksche Arbeiten in der Schweiz, V.46,1992.
49. GPS Surveying. General Refence. April. 1996. Trimble Navigation Lmt.50.4600LS Surveyor. Operation Manual. April. 1997. Trimble NavigationLlmt.

51. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1990.
52. Quy phạm xây dựng lưới độ cao Nhà nước hạng I, II, III và IV. Cục đo đạc và bản đồ Nhà nước. Hà Nội - 1988.
53. Руководство по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Высотные сети. ГУГ и К СССР. М.: Недра, 1976.
54. Дражнюк А. А., Лазаров С. А., Зубинский В. И., Ефимов Г. А. Завершение уравнивания ГГС и внедрение новой государственной системы геодезических координат. М.: ЦНИИГАиК, 1998.
55. Тамутис З. П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. М., Недра, 1979. 188с.
56. Springer T.A., Beutler G., Rothacher M. Improving the orbit estimates of GPS satellites. Journal of geodesy. Springer – Verlag, 1999, 73: 147-157.
57. Davis J. L. Atmospheric propagation affects on Radio interferometry. AFGL - TR- 86 - 0243. Air Force Geophysics Laboratory. 1986.
58. Auton J. R., Crus J. Simulating GPS receiver Measurement Errors. Proceed. Of The 9<sup>th</sup> International Technical Meeting on the Satellite Division of the Institute of Navigation. ION GPS-96. Part 1 of 2. Sep. 17-20, 1996. Kansas, Missouri.
59. Flock W.L., Smith E. K. Natural Radio Noise - A Mini - Review. IEEE Transactions on Antennas and propagation. Vol. AP - 32, N07, July, 1984.
60. Algorithm characterization Report. Document N0 IST 96-R-111, Illgen Simulation Technologies, Inc. Goleta, CA, July 1996.
61. David Wells. Sổ tay định vị GPS. 1987 (Bản dịch ra tiếng Việt của T.S. Lê Văn Hưng – 1997).
62. Eckl M.C., Snay R.A., Soler T., Cline M.W., Mader G.L. Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing – session duration. Journal of geodesy (2001). 75: 633-645. Springer – Verlag.

63. GPS Surveying General Reference. April, 1996. Trimble Navigation Lmt.
64. Beutler G., Bock H., Brockmanu E., Dach P., Frides P., Gurtner W., Hugentobler U., Ineichen D., Johnson J., etc. Bernese GPS software version 4.2. Astronomical institute. University of Berne. January-2001.
65. Tregoning P., Jackson R. The need for dynamic datums. Geomatics Research Australasia, No.71, Dec. 1999, pp. 87-102.
66. Bock Y., (1996b), "Medium Distance GPS Measurements". In GPS for Geodesy, edited by A. Kleusberg and P. J. G. Teunissen, Springer-Verlag, 337-377.
67. Monico J. F. G., Ashkenazi V., and Moore T., (1997). "High Precision GPS Network with Precise Ephemerides and Earth Body Tide Model". Revista Brasileira de Geofisica, 15(2), 155-160.
68. Rothacher, M., and L. Mervart, (1996), "Bernese GPS Software Version 4.0", Astronomical Institute, University of Berne, 418pp.
69. Dong, D., and Y. Bock, (1989), "GPS Network Analysis with Phase Ambiguity Resolution Applied to Crustal Deformation Studies in California", *Journal of Geophysical Research*, 94(B4), 3949-3966.
70. Blewitt, G., (1989), "Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km", *Journal of Geophysical Research*, 94(B8), 10187-10203.
71. Beutler, G., I. Bauersima, W. Gurtner, M. Rothacher, and T. Schildknecht, (1988), "Static Positioning with The Global Positioning System (GPS): State of The Art, in *GPS-Techniques Applied to Geodesy and Surveying*, edited by E. Groten and R. StrauB, Springer-Verlag, 363-380.
72. Freymueller, J. T., (1992), "Comparison of Baselines Results for the TI-4100 and Trimble 4000SDT Geodetic GPS Receivers", *Bulletin Geodesique*, 66, 272-280.
73. Schaer, S., G. Beutler, M. Rothacher, and T. A. Springer, (1996), "Daily global ionosphere maps based on GPS carrier phase data routinely produced by the CODE analysis center", *Proceedings of the IGS 1996 Analysis Center Workshop*, edited by R. E. Neilan, P. A. Van Scoy, and J. F. Zumberge, 181-192.

74. King, R. W., and Y. Bock, (1995), "Documentation of the GAMIT GPS Analysis Software version 9.3", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

75. Talbot, N. C., (1991), "Sequential Phase Ambiguity Resolution for Real Time Static Differential GPS Positioning", *Manuscripta Geodaetica*, 16, 274- 282.

76. Nguyễn Ngọc Lâu. Improving GPS results using continuous processing strategies. A thesis submitted in full fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of philosophy. The University of Tasmania. Dec.1999.

77. Nguyễn Ngọc Lâu. Vai trò của các trị đo khí tượng trong việc xử lý GPS độ chính xác cao. Tạp chí Trắc địa-bản đồ. Số 2-2002, trg. 41-53. Hội trắc địa-bản đồ-viễn thám Việt Nam.

78. Hà Minh Hoà. Vấn đề xác định độ cao anten máy thu trong việc áp dụng công nghệ GPS. Báo cáo khoa học. Quyển 4: Trắc địa, địa chính, bản đồ. Hội nghị khoa học lần thứ 13, trường ĐH Mỏ-Địa chất Hà Nội, 11/1998.

79. Hà Minh Hoà. Khả năng sử dụng công nghệ GPS để xác định độ cao chuẩn. Đặc san khoa học và công nghệ địa chính. 12-1997. Trg.76-78.80.

80. Hà Minh Hoà. Thuật toán xử lý bình sai ghép nối mạng lưới GPS vào Hệ toạ độ quốc gia. Đặc san khoa học và công nghệ địa chính. 10/2001,Trg. 9 - 19.

81. Hà Minh Hoà. Nghiên cứu các mối quan hệ giữa các trị đo trong công nghệ GPS. Báo cáo khoa học. Q.5. Trắc địa, địa chính và Bản đồ. 11/2000. Hội nghị Khoa học lần thứ 14, trường Đại học mỏ - địa chất Hà Nội.

82. Hà Minh Hoà. Hoàn thiện thuật toán biến đổi xoay trong bài toán ghép nối mạng lưới GPS và mạng lưới trắc địa mặt đất. Tạp chí trắc địa-bản đồ. No 1- 1995. Trg. 35-40.

83. Hà Minh Hoà. Chính xác hoá Hệ toạ độ quốc gia nhờ công nghệ GPS. Kỷ yếu Hội nghị khoa học công nghệ lần thứ 8 trường ĐH Bách khoa T.P. Hồ Chí Minh. Phân ban trắc địa bản đồ. 4/2002, Trg. 9 -14.

84. Hà Minh Hoà. Nghiên cứu cơ sở đánh giá ước tính độ chính xác hiệu độ cao trắc địa được xác định theo công nghệ GPS trên các khoảng cách khác nhau. Báo cáo khoa học. Quyển 5: Trắc địa - địa chính - bản đồ. Hội nghị khoa học lần thứ 15, trường ĐH mỏ - địa chất Hà Nội.11/2002,trg. 35-37.

85. Hà Minh Hoà. Nghiên cứu xác định độ chênh cho phép của chiều dài các cạnh trong mạng lưới GPS cùng cấp hạng. Tạp chí Trắc địa-bản đồ. Số 2-2002, trg. 54-60. Hội trắc địa-bản đồ-viên thám Việt Nam.

86. Hà Minh Hoà. Bàn về cơ sở của việc lựa chọn góc ngưỡng vệ tinh E trong đo đạc GPS độ chính xác cao. Tạp chí Địa chính. Số 5-2003, trg. 23-25.

87. Hà Minh Hoà. Nghiên cứu xác định độ chính xác cho phép của độ cao chuẩn các hạng và giải quyết một số vấn đề liên quan đến việc xây dựng mô hình Kvazigeoid chính xác nhờ Hệ tọa độ động học. Tạp chí Khoa học kỹ thuật mỏ - địa chất. Số 3-2003. Trg. 110-114.

88. Hà Minh Hoà. Phương pháp bình sai truy hồi trong qui trình của phép biến đổi xoay Givens. Báo cáo khoa học. Quyển 7: Trắc địa-địa chính-bản đồ. Hội nghị khoa học lần thứ 12, trường ĐH mỏ - địa chất Hà Nội. 10/1996, trg. 73-77.

89. Ха Минь Хоа. Оценка точности функции уравненных величин при уравнивании наземной геодезической сети с учётом спутниковых данных. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. №5, 1991. Стр. 91-100.

90. Phạm Hoàng Lân. Khảo sát độ chính xác xác định dị thường độ cao trọng lực. Tạp chí Địa chính số 9 tháng 9/2002. Hà nội.

91. Phạm Hoàng Lân. Sai số nội suy độ cao Geoid không dùng đến số liệu trọng lực ở Việt Nam. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, số 3, 2003, Hà nội.

92. Phạm Hoàng Lân. Sai số nội suy độ cao Geoid dùng đến số liệu trọng lực và khả năng nâng cao độ chính xác đo cao GPS ở nước ta. Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất, số 4, 2003, Hà nội.

93. Phạm Hoàng Lân. Đề xuất các phương pháp sử dụng kết hợp các số liệu khác loại để nghiên cứu xác định hình dạng trái đất trên phạm vi cục bộ. Luận án tiến sỹ KHKT. Moskova. 1988.

94. Phạm Hoàng Lân. Đánh giá kết quả tính dị thường độ cao trọng lực trên mô hình. Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học lần thứ 15, Q.5: Trắc địa-Địa chính- Bản đồ. Trường đại học Mỏ-Địa chất Hà Nội, 11/2002. Trg. 5 - 7.

95. Phạm Hoàng Lân. Về độ chính xác của các đặc trưng trọng trường trung bình của trái đất. Báo cáo tại Hội nghị khoa học lần thứ 2, trường ĐH Mỏ-Địa chất. Hà nội, 1970.

96. Phạm Hoàng Lân, Hoàng Minh Đức. Đánh giá độ chính xác hiệu độ cao geoid được xác định theo hệ số triển khai điều hoà của thể trọng

trường trái đất. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ-Địa chất. Số 1-2003, trg. 106 – 109

97. Saastamoinen (1972). Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites. In the Use of Artificial Satellites for Geodesy, Geophysysis Monograph, 15, AGU, Wasington D.C.

98. Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes R.A., Ware R.H. GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmosphere Water vapor Using the Global Positioning System. Journal of applied meteorology. American Meteorological Society, 1996.

99. Duan J., Bevis M., Fang P., Bock Y., Chiswell S., Businger S., McClusky S., Herring T.A., King R.W. GPS Meteorology: Direct Estimation of the Absolute Value of Precipitable Weter. Journal of applied meteorology. American Meteorological Society, 1996.

100. Komjathy A., Langley R.B. An Assesment of Predicted and Measured Ionospheric Total Electron Content Using a Regional GPS Network. The ION GPS -96 National Technical Meeting, Santa Monica, CA, 22-24 January 1996. PP.1-10.

101. Hernandez – Pajares M., Juan J.M., Sanz J. High Resolution TEC monitoring method using permanent ground GPS reseivers. Geophysical Research Letters, Vol. 24, No13, PP.1643-1646. July 1, 1997.

102. Zhang K.F., Featherstone W.E., Kirby J.F. Towards a new gravimetric Geoid of Australia. Technical papers. 37th Australian Surveyors Congress, 13 - 19 April 1996, Perth, Western Australia, pp. 137 - 148.

103. Roman D.R., Wang Y.M., Henning W. and Hamilton J. Assessment of the New National Geoid Height Model GEOID03. Technical sessions: Assessment of the New National Geoid Height Model GEOID03. 2004 ACSM/TAPs Conference and Technology Exhibition. Nashville, Tennessee, April, 16-21, 2004.